

**INCIDENCIA DE LOS CONTRATOS DE VENTA DE ENERGÍA DE LOS
GENERADORES EN LA FORMACIÓN DEL PRECIO DE BOLSA DEL MERCADO
ELÉCTRICO COLOMBIANO**

HÉCTOR ALBERTO RUIZ DUQUE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en Economía

Asesores:

JOHN JAIRO GARCÍA
JOSÉ ENRIQUE SALAZAR

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN
DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA
MEDELLÍN
2011

Contenido:

1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	DESCRIPCIÓN DEL MERCADO DE ENERGÍA MAYORISTA -MEM-.....	7
2.1.	Funcionamiento de la Bolsa de Energía	8
2.2.	Ofertas de precio en la bolsa de energía	9
2.3.	Oferta de Precios y Disponibilidad Declarada.....	10
3.	HIPÓTESIS A EXAMINAR	10
4.	MODELO TEÓRICO.....	11
4.1.	Análisis teórico con el Modelo Cournot.....	12
5.	METODOLOGÍA UTILIZADA.....	15
6.	ANÁLISIS DE DATOS, VARIABLES Y SERIES.....	17
6.1.	Datos	17
6.2.	Descripción de variables utilizadas	17
6.3.	Series	19
6.4.	Análisis de cambios estructurales ocurridos en el mercado en el periodo de análisis.....	22
6.5.	Periodo propuesto de estimación.....	24
7.	ESTIMACIONES Y PRUEBAS	25
7.1.	Estimaciones por MCO (OLS).....	25
7.2.	Pruebas.....	28
7.3.	Estimaciones por VI.....	29
8.	RESULTADOS	30
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	31
10.	CONCLUSIONES	36
11.	BIBLIOGRAFIA.....	38
	ANEXO 1	40
	ANEXO 2: PRUEBAS	43
	ANEXO 3	46

Gráficas:

Gráfica No 1: Precio de Bolsa y Δ Precio.....	20
Gráfica No 2: Contratos SIN y Δ Contratos.....	20
Gráfica No 3: Contratos SIN en \$KWh y Δ Contratos SIN \$KWh.....	20
Gráfica No 4: Compras en Bolsa del Generador y Δ Compras en Bolsa del Generador...	20
Gráfica No 5: Ventas Netas en Bolsa Gen y Δ Ventas Netas en Bolsa Gen.....	20
Gráfica No 6: Volumen Embalse Agregado y Δ Volumen Embalse Agregado.....	20
Gráfica No 7: Aportes SIN y Δ Aportes SIN.....	21
Gráfica No 8: Demanda del SIN y Δ Demanda del SIN.....	21
Gráfica No 9: Pronóstico NOAA y Δ Pronóstico NOAA.....	21
Gráfica No 10: Precio del Gas de Referencia Guajira y Δ Precio del Gas.....	21
Gráfica No 11: Valor de Referencia Petróleo y Δ Valor de Referencia.....	21
Gráfica No 12: TRM y Δ TRM.....	21
Gráfica No 13: Evolución Precio de Bolsa Nacional.....	22
Gráfica No 14: Contratos del Generador vs Demanda del SIN en niveles.....	25
Gráfica No 15: Contratos del Generador vs Demanda del SIN en crecimientos.....	26
Gráfica No 16: Δ Precio de bolsa Vs Δ Contratos Netos Generador.....	32
Gráfica No 17: Precio de Bolsa Vs Contratos Netos Generador.....	32
Gráfica No 18: Generación Real Vs Contratos Netos Generador.....	33
Gráfica No 19: Transacciones en Contratos y en Bolsa de los Generadores	35
Gráfica No 20: (Pbolsa-Pcontratos generador) Vs Compras en Bolsa de generador	36
Gráfica No 21: Funciones ACF y PACF residuales regresión inicial.....	41
Gráfica No 22: Funciones ACF y PACF residuales regresión Final.....	41
Gráfica No 23: Funciones ACF y PACF residuales regresión sin incluir las variables Δ NOAAP y Δ NOAAN.....	42
Gráfica No 24: Residuales Regresión Final.....	44
Gráfica No 25: ACF y PACF residuales regresión final.....	44
Gráfica No 26: Serie en niveles y en crecimiento.....	46
Gráfica No 27: Residuales Regresión, aportes mensuales reales	47
Gráfica No 28: ACF y PACF residuales regresióncon aportes mensuales reales.....	47

Tablas:

Tabla No 1: Resultados Regresión obtenida por OLS.....	27
Tabla No 2: Resultados Regresión obtenida por VI	29
Tabla No 3: Estimaciones por OLS regresión con variables de modelo genérico.....	40
Tabla No 4: Matrix de Correlación de Variables	40
Tabla No 5: Estimaciones por OLS sin incluir las variables ΔNOAAP y ΔNOAAN	42
Tabla No 6: Resultados Augmented Dickey-Fuller Test	43
Tabla No 7: Orden de Integración	43
Tabla No 8: Test Augmented Dickey-Fuller Residuales Regresión Final	44
Tabla No 9: Resumen pruebas de Exogeneidad Débil y de Causalidad de Granger.....	45
Tabla No 10: Resultados por OLS, aportes mensuales reales	46

Glosario:

ASIC: Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales

CND: Centro Nacional de Despacho

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas

EIA: US Enenergy Information Administration

NOAA: National Oceanic Admospheric Administration

MCO: Mínimos Cuadrados Ordinarios

MEM: Mercado de Energía Mayorista

SIN: Sistema Interconectado Nacional

VI: Variables instrumentales

INCIDENCIA DE LOS CONTRATOS DE VENTA DE ENERGÍA DE LOS GENERADORES EN LA FORMACIÓN DEL PRECIO DE BOLSA DEL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

1. INTRODUCCIÓN

La incidencia que tienen las ventas de energía mediante contratos de largo plazo de los generadores en la formación del precio de bolsa en los mercados de energía, es un aspecto que se ha tratado en la literatura y se ha evaluado mediante modelos teóricos, encontrándose cómo la exigencia de contratos a los agentes productores con una participación importante en el mercado, puede ser un mecanismo para promover comportamientos competitivos por parte de éstos, en el sentido de que tener un nivel alto de contratación induce a que los agentes oferten a menores precios y por tanto a reflejar sus costos marginales.

El objetivo de este trabajo es mostrar la incidencia que tienen los contratos de venta de energía de los generadores en la formación del Precio de Bolsa del Mercado de Energía Mayorista (MEM) Colombiano, y verificar si aumentos o disminuciones en el nivel global de contratación de los generadores en el MEM han representado disminuciones o aumentos en el Precio de Bolsa del mercado, respectivamente.

Para lograr este objetivo, se procederá inicialmente a formular un modelo econométrico con información mensual del MEM Colombiano para los años 1995 a 2009, a partir de la cual se expresará la variable precio de bolsa como función de variables como contratos de energía de largo plazo de los generadores, precio promedio de estos contratos, compras en bolsa de energía de los generadores, nivel del embalse agregado del sistema, aportes hidrológicos al sistema, pronósticos climatológicos y costos de combustibles.

Se ha encontrado diferente literatura que se refiere al efecto que tienen las ventas de los agentes generadores vía contratos en la formación de precios de mercados eléctricos. Al respecto, Allaz Blaise and Vila, Jean-Luc (1993), mediante un modelo de Duopolio de Cournot, muestran como la existencia de un mercado de futuros incrementa la eficiencia del mismo; con este modelo muestran que cuando las firmas venden mediante contratos forward, previo al mercado spot, si el número de períodos de antelación desde la realización de la transacción al momento de entrega de la producción en el spot, tiende a ser muy grande, la salida del monopolio tenderá a una solución perfectamente competitiva. Por su parte, Green, Richard R. (1999), muestra para el mercado de energía eléctrica en Inglaterra y Gales, como los dos principales generadores, National Power y PowerGen, pueden aumentar los precios spot de la electricidad sobre sus costos marginales, ante la ausencia de contratos. Igualmente, Wolak, F.A. (2000), por medio de

un modelo del comportamiento de la oferta de los agentes en un mercado eléctrico competitivo, encuentra evidencia de la eficacia de los contratos de cobertura financiera como medio para mitigar el poder de mercado durante las etapas iniciales de funcionamiento del Mercado Mayorista Australiano. Por otro lado, de Frutos y Fabra (2009), analizan si los contratos forward de los productores de electricidad son una forma de mitigar su poder de mercado. Sus resultados sugieren que el efecto de los contratos sobre los precios depende de la simetría o no de las empresas; por ejemplo, si las empresas son asimétricas los contratos pueden llevar a precios más altos o anticompetitivos, esto puede darse si los contratos son asignados a las empresas con incentivos débiles para interferir los precios, como son las pequeñas o ineficientes; por el contrario, los precios pueden bajar si son asignados a las empresas grandes o a las eficientes con altos incentivos para incrementar precios, mejorando así el bienestar. Si son simétricas y los contratos se distribuyen simétricamente entre éstas, un aumento de los contratos hasta niveles competitivos mejorará el bienestar.

Los principales resultados del modelo lineal estimado por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), para las variables expresadas en crecimientos, muestran que hay una relación directa entre la variación del precio de bolsa del sistema y la variación del nivel de ventas en contratos de los agentes generadores en el MEM, igualmente se encuentra que también hay una relación directa entre la variación del precio de bolsa y la variación que presenta la variable precio promedio de los contratos. Por el contrario, existe una relación inversa entre los cambios en esta variable y los cambios en la variable compras de los generadores en la Bolsa de Energía, que realizan para atender sus contratos; igualmente, también existe una relación inversa con las variaciones que se presentan en el nivel del embalse agregado del sistema y en los aportes al sistema, comportamiento que es acorde con el costo del recurso en sistemas predominantemente hidráulicos.

Este trabajo se estructura de la siguiente forma: después de esta introducción, en el numeral 2 se hace una descripción del Mercado Eléctrico Colombiano. En el numeral 3 se plantea la hipótesis. En el 4 se desarrolla el modelo conceptual. En el numeral 5 se describe la metodología utilizada. En el numeral 6 se describen las variables y series del modelo y se hace un análisis de los datos. En el 7 se hacen las estimaciones por MCO y por VI. En los numerales 8 y 9 se presentan los resultados y se hace un análisis de los mismos presentando el efecto de los cambios en las variables: magnitud de ventas en contratos de los generadores, precio promedio de estos contratos, compras en bolsa de energía de los generadores, nivel del embalse agregado y aportes hidrológicos, en la formación del precio de bolsa. Finalmente, en el numeral 10, se plantean las conclusiones.

2. DESCRIPCIÓN DEL MERCADO DE ENERGÍA MAYORISTA -MEM-

La Ley 143 de 1994 (Ley Eléctrica) definió el Mercado de Energía Mayorista (MEM) en Colombia como "El mercado de grandes bloques de energía eléctrica, en el cual generadores y comercializadores venden y compran energía y potencia en el Sistema

Interconectado Nacional, con sujeción al reglamento de operación". Su funcionamiento está fundamentado en la existencia de una bolsa de energía, donde se realizan intercambios comerciales, y de un operador central del Sistema Interconectado Nacional (SIN), denominado Centro Nacional de Despacho (CND)¹.

Las transacciones realizadas entre generadores y comercializadores en el mercado de electricidad se efectúan mediante dos mecanismos:

- a) Contratos bilaterales de largo plazo. Las compras de energía con destino al mercado regulado que den origen a contratos bilaterales, deben hacerse a través de mecanismos que estimulen la libre competencia. Las empresas integradas verticalmente con la actividad de generación, sólo pueden auto-comprarse hasta el 60% de la energía con destino a su mercado regulado, y deben participar como cualquier otro generador en la convocatoria pública para las compras de energía. Para el mercado no regulado las compras de energía se realizan a través de negociaciones directas entre generadores y comercializadores en las cuales se pactan libremente las condiciones, cantidades, y precios para la compra y venta de energía.
- b) Bolsa de energía. Es un sistema mediante el cual se vende y compra energía en el corto plazo (hora a hora), basado en un modelo de libre competencia entre oferta y demanda. Los recursos de generación ofrecidos para cubrir la demanda se despachan de menor a mayor precio, siendo el último despachado, el que define el costo marginal de las transacciones y fija el precio de bolsa. Este sistema da lugar a contratos de Energía en la Bolsa los que se celebran a través del Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC), para la enajenación hora a hora de energía. Los comercializadores y generadores se obligan a participar en la Bolsa de Energía.

Los ingresos del generador proceden fundamentalmente de dos fuentes: a) Ventas de energía, bien sea a través de contratos bilaterales o de bolsa y b) Cargo por confiabilidad, este último pretende promover la expansión del parque de generación eléctrico en el país y asegurar que los recursos de generación estén disponibles para abastecer la demanda en situaciones de escasez.

2.1. Funcionamiento de la Bolsa de Energía

El operador del Sistema realiza el despacho ideal de los recursos ofertados de generación para cubrir la demanda del sistema hora a hora. Para efectuarlo considera el precio de oferta en bolsa de los generadores térmicos e hidráulicos y la disponibilidad comercial² declarada por estos agentes, para atender la demanda real para cada una de las horas del día en proceso. El despacho ideal se determina por medio del programa de despacho económico, el cual se ejecuta todos los días a posteriori al de la operación real del

¹ La resolución CREG 024 de 1995 reglamentó los aspectos comerciales del MEM, y la resolución CREG 025 de 1995 los aspectos operativos del SIN.

² La disponibilidad comercial se determina con base en las disponibilidades reales y las características técnicas de los equipos.

sistema. El programa de generación resultante de este despacho se denomina Despacho Ideal, el cual determina los recursos disponibles de menor precio requeridos para atender la demanda real, sin considerar las restricciones de los Sistemas de Transmisión Nacional (STN), Transmisión Regional (STR) y de Distribución Local (SDL), existentes en la operación, y considerando las características técnicas de las unidades de generación utilizadas en el despacho económico ejecutado para la operación real del sistema.

En la liquidación de las operaciones del mercado, el ASIC realiza un proceso de balance entre el despacho ideal y los consumos de energía para la asignación de los contratos de energía, con el fin de calcular los excesos o déficits para cada uno de los agentes participantes en los contratos, o para los que compran o venden energía directamente a través de la bolsa. La enajenación de energía, en cantidades superiores o inferiores a las asignadas en los contratos de energía a largo plazo, determina el objeto de los contratos de energía en la bolsa, cuyo precio se fija con el precio de bolsa resultante del Despacho Ideal. En la asignación de los Contratos de Energía a Largo Plazo se analizan las condiciones establecidas en los contratos registrados ante el ASIC para cada agente que esté comprando en la Bolsa de Energía, para determinar la cantidad de energía total asignable al agente para efectos del proceso de balance.

Para el caso de los generadores, el cálculo se realiza sumando las cantidades de los contratos respectivos que se hayan asignado a los comercializadores. Si la sumatoria de las cantidades de energía de los contratos asignados excede la sumatoria de la generación en el despacho ideal de todas las unidades de generación pertenecientes al generador en la hora respectiva, el generador paga ese faltante al precio en la Bolsa de Energía para esa hora. En caso contrario, el generador recibe por la generación adicional a la cantidad asignada en sus contratos una remuneración correspondiente al producto de la cantidad adicional por el precio en la Bolsa de Energía para esa hora.

2.2. Ofertas de precio en la bolsa de energía³

Los precios a los cuales las empresas generadoras ofrezcan diariamente al Centro Nacional de Despacho (CND) energía de sus unidades de generación, por unidad de energía generada cada hora en el día siguiente⁴, deben reflejar los costos variables de generación en los que esperan incurrir, teniendo en cuenta:

Para plantas termoeléctricas: el costo incremental del combustible, el costo incremental de administración, operación y mantenimiento, los costos de arranque y parada⁵ y la eficiencia térmica de la planta.

³ Resolución CREG 055 de 1994.

⁴ A partir de la Resolución CREG 026 de 2001, se pasa de oferta horaria a una única oferta diaria.

⁵ Estos costos de Arranque-Parada, con la expedición de la Resolución CREG 051 de 2009, se ofertan por separado.

Para las plantas hidroeléctricas: los costos de oportunidad (valor de agua) de generar en el momento de la oferta, teniendo en cuenta la operación económica a mediano y largo plazo del sistema interconectado nacional.

2.3. Oferta de Precios y Disponibilidad Declarada⁶

Oferta de Precios: desde el inicio del mercado y hasta febrero de 2001, para el despacho económico horario, las empresas generadoras debían informar diariamente al CND la oferta de precios (expresado en valores enteros de \$/MWh) a nivel horario para cada unidad térmica, planta hidráulica o interconexión internacional.

A partir del 27 de febrero del año 2001⁷ para el despacho económico horario, las empresas generadoras deben informar diariamente al CND una única oferta de precio para las veinticuatro (24) horas (expresada en valores enteros de \$/MWh) por cada unidad térmica, planta hidráulica o interconexión internacional.

Declaración de disponibilidad: para el despacho económico horario, las empresas generadoras deben declarar diariamente al CND la mejor estimación de la disponibilidad esperada a nivel horario para cada unidad generadora. La disponibilidad declarada es la máxima cantidad de potencia neta (expresada en valores enteros en MW) que un generador puede suministrar al sistema durante el intervalo de tiempo determinado para el despacho económico o redespacho, reportada por la empresa propietaria del generador.

3. HIPÓTESIS A EXAMINAR

Hipótesis: incrementos en las ventas de energía mediante contratos de largo plazo de los generadores en el Mercado Eléctrico Colombiana, inducen a disminuciones en el precio del mercado.

Esta hipótesis se sustenta en el siguiente raciocinio teórico: cuando una empresa generadora vende buena parte de su capacidad en contratos de largo plazo, siempre y cuando sus costos de producción sean inferiores, incluyendo el costo de oportunidad del agua, procurará salir despachada en la Bolsa de Energía, a fin cubrir sus contratos con su propia generación. En este caso tendrá el incentivo para ofrecer su propia generación a un precio inferior al precio de la bolsa y probablemente cercano a su costo marginal, porque de lo contrario, tendría que ir a la bolsa a comprar energía para satisfacer sus contratos. Si su estrategia fuera incrementar el precio de bolsa, puede suceder que por este comportamiento no salga despachado, y en consecuencia, tenga que comprar en bolsa a un precio mayor para cubrir sus propios contratos, sin que con ello obtenga algún beneficio, por el contrario, puede salir afectado; ésto hace que pierda el incentivo a incrementar el precio de bolsa. Con los otros competidores puede suceder algo similar si

⁶ Resolución CREG 025 de 1995 (Código de Operación)

⁷ Resolución CREG 026 de 2001

también venden parte de su generación en contratos, lo cual conduce a que se tenga una mayor oferta y en consecuencia, un precio de bolsa menor. Así, ante iguales condiciones de costos de producción y demanda, una mayor contratación inducirá un nivel de precios menor.

Como se observará durante el desarrollo del trabajo, la principal dificultad es la obtención de una estimación de los costos marginales “reales” del sistema; es por ello que los análisis se harán en referencia al precio y no al margen entre el precio y el costo (conocido en la literatura como “uplift”).

4. MODELO TEÓRICO

El modelo clásico de la teoría de juegos no cooperativos conocido como Modelo de Cournot, es de amplio uso para analizar prácticas potenciales de poder mercado en aquellos con características oligopólicas y con restricciones en la capacidad de generación de los agentes, dado que considera la pendiente de la cantidad demandada residual para la empresa en estudio y por tanto, la capacidad de un agente para modificar el precio vía cantidades ofertadas cuyo elemento es crítico en el momento de ejercer poder de mercado.

En este modelo la competencia se da por las cantidades producidas y las firmas toman sus decisiones en términos de la capacidad de producción, el nivel de precios del mercado se define con base a la función inversa de demanda. Los competidores al interior del mercado alcanzan el equilibrio competitivo de Nash, correspondiente a los máximos beneficios económicos para cada agente, bajo el supuesto que el resto de participantes actúa en forma estratégica. Tal esquema de estrategias, para el caso de un juego no repetido, se conoce como equilibrio de Nash-Cournot ya que en un juego de varias etapas surgen múltiples equilibrios.

Si bien el modelo de competencia de Cournot es probablemente el más utilizado para la simulación de oligopolios en mercados eléctricos, otra alternativa bien conocida es el modelo de oligopolio de Bertrand en el que los participantes eligen los precios para vender su producción. Sin embargo, Borenstein y Bushnell (1999) sostienen que la competencia Bertrand es inapropiada porque supone que cada empresa puede aumentar su producción lo suficiente como para abastecer el mercado entero, que es poco probable que sea el caso en los mercados eléctricos. De hecho, Tirole (2002) ha demostrado que los modelos de la competencia a la Bertrand con limitaciones de capacidad pueden tener equilibrios que están más cerca de los resultados de Cournot. Borenstein y Bushnell (1999) muestran que en comparación con las estrategias de fijación de precios y de equilibrio de Bertrand, el paradigma de fijación de cantidades de Cournot parece corresponder mucho más a los mercados de electricidad. El equilibrio de Bertrand se apoya en el supuesto de que cualquier empresa puede capturar todo el mercado fijando precios por debajo de los otros y puede aumentar su producción para satisfacer dicha demanda, lo cual no es defendible, dado que las restricciones de capacidad en la

generación son significativas tanto en el mediano plazo (basados en construcción de nueva capacidad) como en el corto plazo (las plantas se declaran indisponibles por mantenimiento o por otras consideraciones de confiabilidad). En el corto plazo las restricciones son más relevantes dado que las inversiones de capacidad de los principales agentes ya se han efectuado. Adicionalmente, señalan que el modelo de Cournot permite un modelamiento mucho más detallado y de más soluciones que el enfoque de Subastas de Curva de Oferta.

En el modelo teórico se introducirán los contratos de venta de los productores para evaluar su incidencia en la formación del precio del mercado. Allaz y Vila (1993) han mostrado cómo la existencia de contratos a largo plazo cambia la estructura de incentivos del modelo de oligopolio de Cournot. Si un oligopolista ya ha comprometido una parte sustancial de su capacidad a un precio predeterminado, él no tiene incentivos para manipular el mercado.

4.1. Análisis teórico con el Modelo Cournot

En este modelo teórico, los principales proveedores de electricidad se representan como competidores tipo Cournot mientras que las empresas más pequeñas se supone que son tomadores de precios. Para estas últimas, las opciones de salida de precios difieren muy poco de las opciones de salida de precios de Cournot.

Por simplicidad en este análisis, se considera que existen dos productores estratégicos⁸, digamos i y j , que poseen una función de costos $C(q) = c * q + F$, donde c es el costo marginal de cada agente generador y F sus costos fijos.

También se considera que existe una franja competitiva de productores que se modelan por su función de oferta $S(p)$. Es decir, para un nivel de precios p , la franja competitiva de los agentes precio aceptantes produce $S(p)$.

Se asume igualmente, que los agentes estratégicos (agentes generadores) han vendido una cantidad x en contratos de largo plazo, a un precio predeterminado f y que reciben unos ingresos fijos por la confiabilidad que aportan al sistema que se representará como Cx . El precio spot (precio de bolsa) del mercado se denotará por p .

Cada uno de estos agentes maximiza sus beneficios dados por los ingresos provenientes de sus ventas en contratos de largo plazo y en el mercado spot, y los provenientes del cargo por confiabilidad, restando de éstos los costos asociados de generación.

⁸ Entendidos como aquellos agentes que se comportan racionalmente en el sentido económico, esto es, tratan ante todo de maximizar sus beneficios económicos hasta donde sea posible hacerlo.

Los beneficios del agente i serán:

$$\Pi_i = p(q_i + q_j) * (q_i - x_i) + f_i * x_i + Cx C_i - c_i * q_i - F_i$$

Para el agente j serán:

$$\Pi_j = p(q_i + q_j) * (q_j - x_j) + f_j * x_j + Cx C_j - c_j * q_j - F_j$$

Reorganizando se obtiene:

$$\Pi_i = p(q_i + q_j) * q_i + Cx C_i - c_i * q_i - F_i - x_i * [p(q_i + q_j) - f_i] \quad (1)$$

$$\text{y}$$

$$\Pi_j = p(q_i + q_j) * q_j + Cx C_j - c_j * q_j - F_j - x_j * [p(q_i + q_j) - f_j] \quad (2)$$

El término $x * [p(q_i + q_j) - f]$ aumentará los beneficios de cada agente estratégico si el precio de sus contratos de largo plazo llega a ser mayor que el precio spot, en caso contrario los disminuirá.

La Demanda Residual que enfrentan los productores estratégicos es:

$$D_R(p) = D_T - S(p)$$

Donde D_T es la demanda total del mercado.

Si se considera que la función de oferta de la Franja es de la forma $S(p) = \alpha * p$, entonces la demanda residual efectiva es:

$$D_R(p) = D_T - \alpha * p \quad (3)$$

La producción agregada de los dos productores estratégicos, que denotaremos por $Q = q_i + q_j$, define de manera indirecta el precio del mercado a partir de la función inversa de demanda que ellos enfrentan. Esta función se obtiene de la ecuación (3) igualando Q a la Demanda Residual D_R y despejando el precio del mercado p :

$$p(Q) = (D_T - Q) / \alpha \quad (4)$$

Si se denota a \bar{p} como el nivel de precios al cual la D_R es cero, se obtiene de la ecuación (3) que:

$$\bar{p} = D_T / \alpha \quad (5)$$

Sustituyendo (5) en la ecuación (4) y haciendo $Q = q_i + q_j$, se obtiene la función inversa de demanda:

$$p(q_i + q_j) = \bar{p} - \frac{1}{\alpha}(q_i + q_j) \quad (6)$$

Ahora el valor de p lo reemplazamos en la ecuación (1) para formular el problema de optimización del agente i , esto es:

$$Max_{q_i} \Pi_i = [\bar{p} - \frac{1}{\alpha}(q_i + q_j)] * q_i + Cx C_i - c_i * q_i - F_i - x_i * [\bar{p} - \frac{1}{\alpha}(q_i + q_j) - f_i]$$

Por condiciones de primer orden se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\partial \Pi_i}{\partial q_i} = \bar{p} - \frac{2}{\alpha} q_i - \frac{1}{\alpha} q_j - c_i + \frac{1}{\alpha} x_i = 0$$

De la expresión anterior se despeja q_i y se obtiene la función de reacción del generador i :

$$q_i = \frac{1}{2} [\alpha * (\bar{p} - c_i) - q_j] + \frac{1}{2} x_i \quad (7)$$

Similarmente, el problema de optimización del agente j viene dado por:

$$Max_{q_j} \Pi_j = [\bar{p} - \frac{1}{\alpha}(q_i + q_j)] * q_j + Cx C_j - c_j * q_j - F_j - x_j * [\bar{p} - \frac{1}{\alpha}(q_i + q_j) - f_j]$$

Por la simetría del problema, la condición de primer orden con relación al problema del agente j , conduce a la función de reacción del generador j :

$$q_j = \frac{1}{2} [\alpha * (\bar{p} - c_j) - q_i] + \frac{1}{2} x_j \quad (8)$$

Resolviendo simultáneamente las ecuaciones (7) y (8) se llega a la situación de equilibrio Cournot-Nash obteniendo las cantidades generadas por cada agente considerando sus contratos de largo plazo y sus costos marginales. Esto es:

$$\boxed{q_i = \frac{1}{3} [\alpha * (\bar{p} - 2c_i + c_j) + 2x_i - x_j]} \quad (9)$$

y

$$\boxed{q_j = \frac{1}{3} [\alpha * (\bar{p} - 2c_j + c_i) + 2x_j - x_i]} \quad (10)$$

De las expresiones (9) y (10) se puede observar que la salida (cantidad producida) de cada agente estratégico incrementa con sus propias ventas en contratos y disminuye con los de sus rivales.

El precio del mercado se obtiene sustituyendo (9) y (10) en la ecuación (6):

$$p^* = \bar{p} - \frac{1}{\alpha} \left\{ \frac{1}{3} [\alpha * (\bar{p} - 2c_i + c_j) + 2x_i - x_j] + \frac{1}{3} [\alpha * (\bar{p} - 2c_j + c_i) + 2x_j - x_i] \right\}$$

Simplificando la expresión anterior se obtiene:

$$p^* = \frac{1}{3}[\bar{p} + (c_i + c_j) - \frac{1}{\alpha}(x_i - x_j)] \quad (11)$$

Si se reemplaza $\bar{p} = D_T / \alpha$ en (11) se encuentra el Precio de Mercado como una función de la Demanda Total del Mercado, los contratos de largo plazo de cada agente estratégico, los costos marginales y la pendiente de la función de Oferta de la Franja.

$$p^* = \frac{1}{3}[\frac{1}{\alpha}(D_T - x_i - x_j) + (c_i + c_j)] \quad (12)$$

La expresión anterior representa un modelo teórico económico que servirá para examinar la hipótesis formulada. Como puede observarse, en condiciones idénticas de costos de producción y demanda, el precio spot decrece a medida que aumenta el nivel de ventas de energía de los agentes en el mercado mediante contratos del largo plazo.

Es importante tener en cuenta que, dado el predominio de la generación hidráulica en el sistema colombiano, la comparación de precios con un esquema de mínimo costo se hace más difícil. Una de las dificultades radica en que los costos variables para un productor hidroeléctrico dependen esencialmente del costo de oportunidad del agua (valor que maximiza los beneficios presentes y futuros del productor), que depende de sus expectativas de las condiciones del mercado en el futuro, situación bastante compleja de medir con algún grado de precisión. Se debe tener en cuenta que el valor del agua, bajo la óptica de mercado, está sujeto a una gran incertidumbre debido a que en las expectativas del comportamiento futuro del mercado del agente, se deben incorporar el comportamiento hidrológico, que es una variable que no deja de ser incierta. La anterior consideración implica tener en cuenta dentro de las variables que explican el comportamiento del precio de mercado, variables que de alguna manera den cuenta del comportamiento hidrológico del sistema, que podrían ser entre otras, los aportes hidrológicos a los embalses de los agentes principales del país y la expectativa climática.

Tampoco se conoce con exactitud cuál es el costo de producción de las plantas térmicas debido a que, de un lado, no se conoce con precisión el costo de los combustibles y transporte, y del otro, el tipo de contratación de estos combustibles tiene un efecto muy importante sobre los costos (por ejemplo los contratos tipo Take or Pay con periodos de cumplimiento), que hace que no sea precisa su estimación.

5. METODOLOGÍA UTILIZADA

Con información del mercado eléctrico colombiano se construirá un modelo econométrico mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS, por sus siglas en inglés), a partir del cual se contrastará la hipótesis formulada. Este modelo se estipulará tomando como referencia la ecuación (12) obtenida para el modelo teórico.

En la regresión a plantear, la variable precio de bolsa se construirá, en principio, a partir de las variables: nivel de contratación de los agentes generadores, demanda del SIN, nivel del embalse agregado en el periodo t-1, aportes hidrológicos del sistema, expectativa climática (NOAA), Tasa Representativa del Mercado (TRM), costos del gas y del petróleo⁹. Esto es:

$$Pbolsa = f(x_i + x_j + \dots + x_n, D_T, Apor - h, Exp - cl, Ccom - T) \quad (13)$$

Donde:

Pbolsa : Precio de Bolsa o de Mercado

$x_i + x_j + \dots + x_n$: Nivel de contratación de los agentes generadores

D_T : Demanda total de energía del sistema

$Apor - h$: Aportes hidrológicos a los embalses del país

$Exp - cl$: Expectativa climática

$Ccom - T$: Costos de combustible de las plantas térmicas

Estas variables se expresarán como tasas de crecimiento (Δ) restando del logaritmo natural del dato en el período t, el logaritmo natural del dato en el período t-1, como muestra la siguiente ecuación:

$$D_t = Ln(D_t) - Ln(D_{t-1}) \quad (14)$$

Esta transformación permite obtener unos resultados prácticamente idénticos a una tasa de crecimiento, pero con una distribución más simétrica y que resulta más conveniente.

Para representar los cambios en el valor del agua, variable relevante en este análisis, se introducen como variables explicativas, el cambio en el nivel del embalse agregado con el que cuenta el sistema al inicio del periodo, esto es, en t-1, los cambios en los aportes hidrológicos en el periodo t, y los cambios en la expectativa climática vista en el periodo t+6, que está representada al considerar la variable $\Delta noaa$.

Adicionalmente, y con base en los resultados obtenidos sobre las variables que inicialmente se asumieron como explicativas de los cambios en el precio de bolsa, se introducen otras variables que resultaron relevantes y que además tienen relación con la variable contratos como lo son: el precio promedio de los contratos, las compras en bolsa de los generadores para atender sus contratos así como las ventas netas de éstos en bolsa.

Se realizan pruebas para verificar el grado de integración de las series y para validar si los residuales de la regresión obtenida por OLS son estacionarios y así garantizar que la

⁹ El modelo econométrico propuesto, en comparación con el modelo conceptual que se dedujo en la ecuación (12), tiene en cuenta variables que dan razón de los costos variables de los agentes hidráulicos como lo son los aportes hidrológicos del sistema a los embalses del país y la expectativa climática.

regresión no sea espúrea (test de Dickey Fuller). Igualmente, se efectúan pruebas de exogeneidad débil y fuerte sobre las variables que a priori pueden no serlo, y con el fin de controlar por problemas de endogeneidad, se realizan las estimaciones por Variables Instrumentales (VI). Con los resultados obtenidos por los dos métodos, esto es, OLS y VI, se aplica el test de Hausman¹⁰ para verificar cuáles estimadores son más consistentes y poder definir el modelo para analizar, con mayor robustez estadística.

6. ANÁLISIS DE DATOS, VARIABLES Y SERIES

6.1. Datos

Se analizaron, inicialmente, datos mensuales para el periodo comprendido entre enero de 1995 y febrero de 2010. Finalmente, y como se explicará en el numeral 6.4 (Análisis de Cambios Estructurales), el periodo de análisis se concentrará entre abril de 1998 y agosto de 2009. Ésto significa disponer de 137 observaciones por cada variable.

La fuente de los datos del mercado Colombiano es el sistema de información denominado “NEON” de la compañía XM, que opera el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y administra el Mercado de Energía Mayorista (MEM); la información sobre expectativa climática se obtuvo a partir de información de la “National Oceanic Atmospheric Administration -NOAA-”. La información de costos del Gas de publicaciones de la empresa ECOPETROL S.A, y del Fuel Oil, de publicaciones de la “US Energy Information Administration -EIA-”.

6.2. Descripción de variables utilizadas

- **$\Delta pbolsa$:** corresponde al cambio mensual en el precio de bolsa, siendo el precio de bolsa mensual el ponderado de las compras en bolsa Nacional en el periodo (Valor/Magnitud). Se expresa en [\$/ kWh].
- **$\Delta contratossin$:** corresponde al cambio mensual en la magnitud de la energía vendida mediante contratos de largo plazo (ventas menos compras), de los agentes generadores en el MEM. Se expresa en [kWh].
- **$\Delta contratossin\$Kwh$:** es el cambio mensual que se da en el precio promedio de los contratos, siendo el precio promedio de los contratos el cociente obtenido de dividir el costo de la energía vendida mediante contratos de largo plazo entre la magnitud de esa energía vendida. Se expresa en [\$/ kWh].

¹⁰ Ver Hausman (1978).

- **Δ comprasbolsa:** es el cambio mensual en la magnitud de la energía comprada en la bolsa por los agentes generadores para atender sus contratos de largo plazo. Se expresa en [kWh].
- **Δ ventasnetasbolgen:** es el cambio mensual en la magnitud de las ventas netas en bolsa del generador, siendo las ventas netas en bolsa del generador la energía resultante de restar la energía comprada en la bolsa por los agentes generadores para atender sus contratos de largo plazo del total de la energía vendida en la bolsa para atender tanto la demanda nacional como la internacional. Se expresa en [kWh].
- **Δ volembalse:** es el cambio mensual en la magnitud del nivel del embalse agregado, siendo el nivel del embalse agregado la reserva de energía del embalse agregado del sistema de acuerdo con la cantidad de agua almacenada en el mismo. Se expresa en [kWh].
- **Δ aportessin:** es el cambio mensual en los aportes hidrológicos del sistema, siendo estos aportes el caudal medio mensual histórico en energía para los ríos del SIN¹¹. Se expresa en [kWh].
- **Δ demansin:** es el cambio mensual en la magnitud de la demanda de energía del sistema la cual se calcula con base en la generación neta de las plantas e incluye: hidráulicas, térmicas, plantas menores, cogeneradores, demanda no atendida, limitación del suministro e importaciones.
- **Δ noaa:** es el cambio mensual en la expectativa climática (NOAA), siendo esta expectativa una variable que considera la expectativa de cambios, seis meses adelante, en la temperatura superficial del mar de la franja ecuatorial del Océano Pacífico, zona Niño 3.4, a partir de los cuales se puede predecir la ocurrencia de los fenómenos climáticos del “Niño” o de la “Niña”, fenómenos que tienen gran incidencia en la disponibilidad del recurso hídrico en el Sistema Colombiano. Se expresa en [°C].
- **Δ preciogas\$:** es el cambio mensual que se presenta en el costo del gas, siendo el gas un combustible utilizado en algunas de las plantas de generación térmica del sistema. Se toma como referencia el precio del gas de Guajira, y se expresa en [\$/MBTU].
- **Δ preciooil\$:** es el cambio mensual que se presenta en el costo del petróleo, siendo el petróleo un combustible utilizado en algunas de las plantas de generación térmica del sistema. Se toma como referencia el promedio del “New York Harbor Residual Fuel Oil 1.0 % Sulfur LP Spot Price CIF”, y se expresa en [\$/gl.]

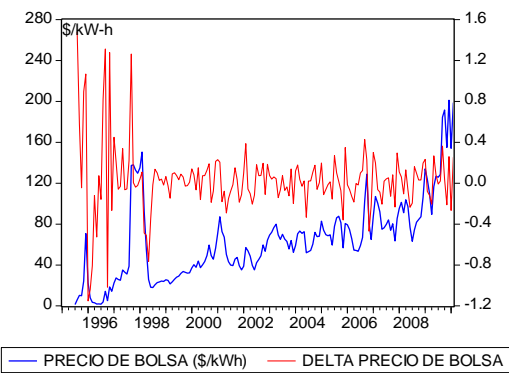
¹¹ El caudal medio mensual histórico es obtenido por el Operador del Sistema (XM) como el promedio de los valores de cada mes para todos años con información disponible.

- Δtrm : es el cambio mensual que se presenta en la TRM, siendo la TRM la Tasa Representativa del Mercado (Tasa de cambio de US\$ a C\$), cuyo valor se utiliza para convertir los precios del gas o del “Fuel Oil” de US\$ a C\$. Se expresa en [C\$/US\$].

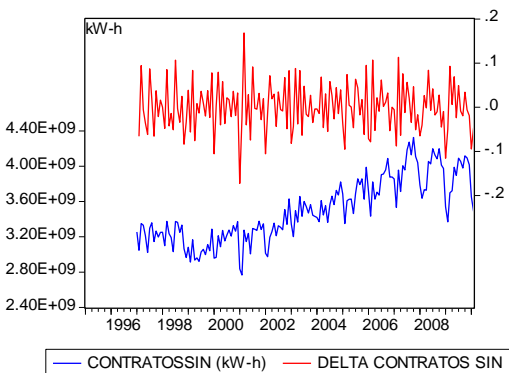
6.3. Series

En este capítulo se representan las series utilizadas, tanto en niveles como en diferencias (Ver Gráficas 1 a 12), para el periodo comprendido entre enero de 1995 y febrero de 2010.

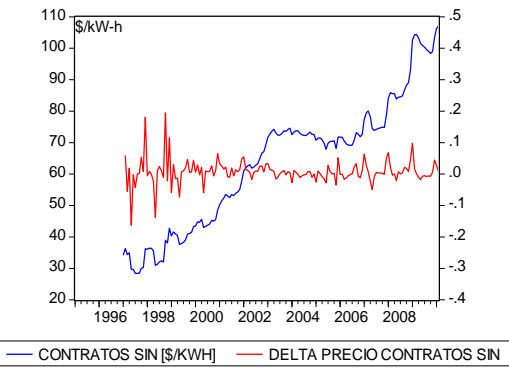
Gráfica No 1: Precio de Bolsa y Δ Precio



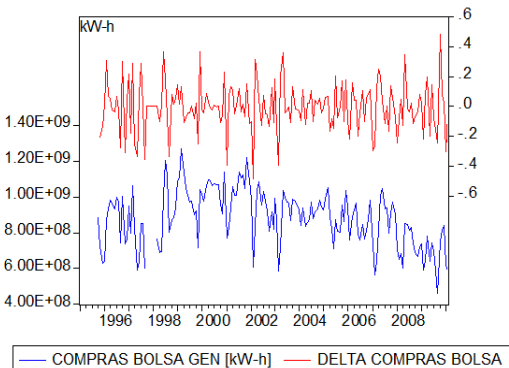
Gráfica No 2: Contratos SIN y Δ Contratos



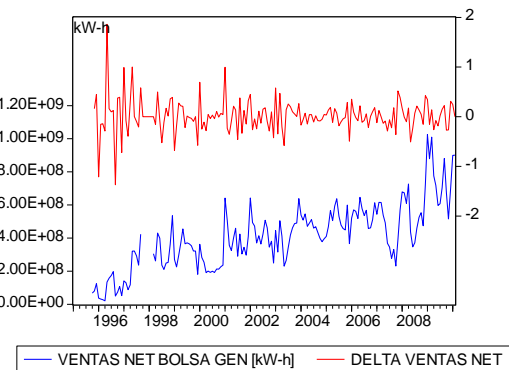
Gráfica No 3: Contratos SIN en \$KWh y Δ Contratos SIN \$KWh



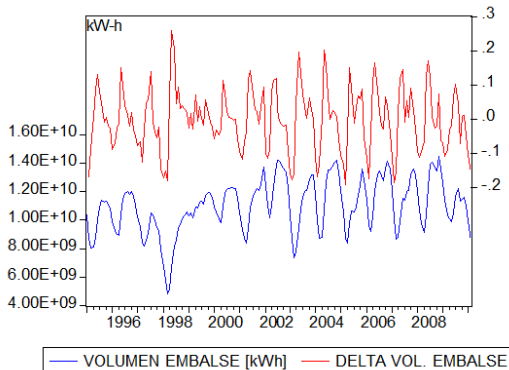
Gráfica No 4: Compras en Bolsa del Generador y Δ Compras en Bolsa del Generador



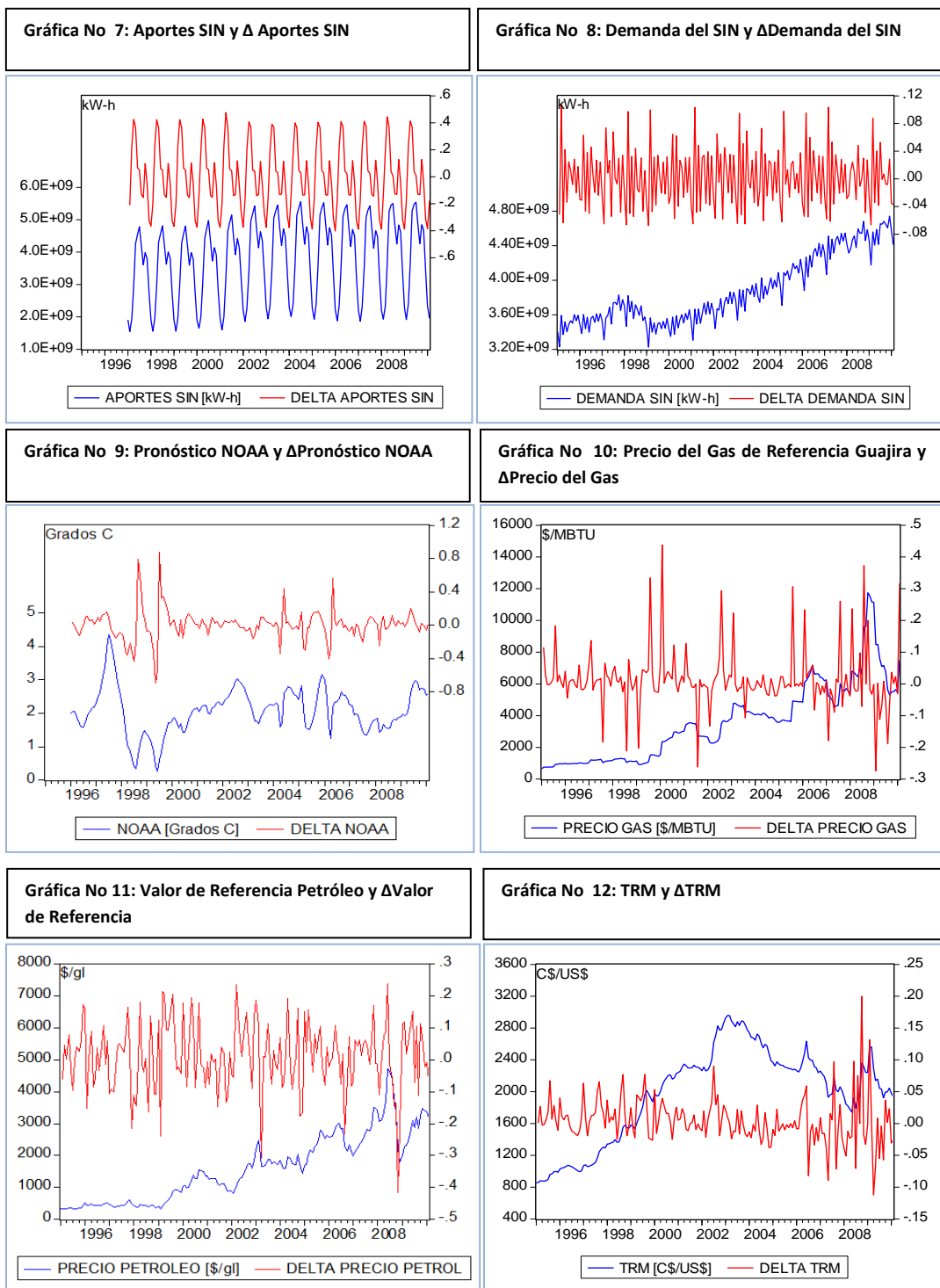
Gráfica No 5: Ventas Netas en Bolsa Gen y Δ Ventas Netas en Bolsa Gen



Gráfica No 6: Volumen Embalse Agregado y Δ Volumen Embalse Agregado



Fuente: XM y cálculos propios

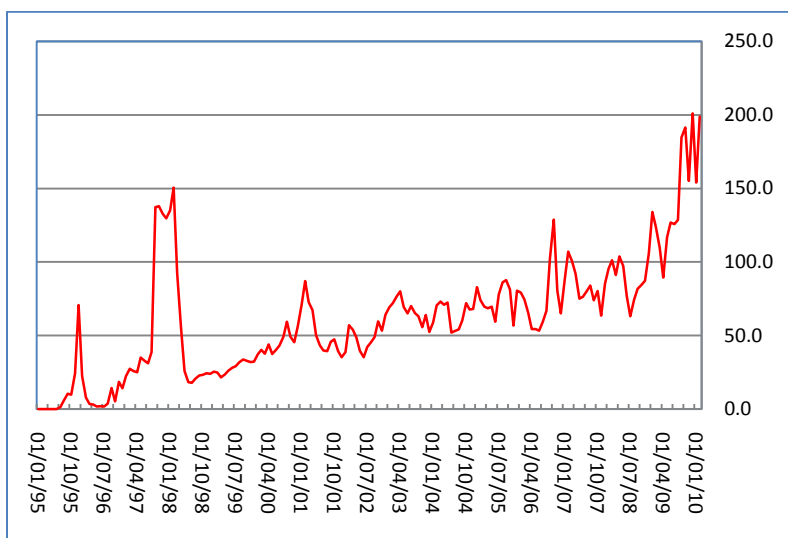


Fuente: XM, NOAA, ECOPETROL, EIA, BANREP y cálculos propios

6.4. Análisis de cambios estructurales ocurridos en el mercado en el periodo de análisis.

Para seleccionar el periodo de análisis, primero se revisa si se presentaron cambios estructurales asociados con eventos relevantes en la operación del Mercado Eléctrico Colombiano, desde su creación en el año 1995 hasta el año 2010, que puedan incidir en la formación del precio de bolsa. La evolución del precio de bolsa en este periodo se presenta en la Gráfica No 13.

Gráfica No 13: Evolución Precio de Bolsa Nacional



El eje de las ordenadas está en \$/kWh. Fuente: XM y cálculos propios

De esta revisión se concluye lo siguiente:

1. Entre julio de 1997 y febrero de 1998 se observa un incremento importante en el Precio de Bolsa (del orden de \$130/kWh), y luego, una caída pronunciada en el mismo hasta finales de abril de 1998, situación que se explica principalmente por la ocurrencia del fenómeno de “El Niño” entre los años 97 y 98. Lo anterior sugiere, para efectos de este análisis, iniciar las series en el mes 04 del año 1998, para no capturar el efecto tan pronunciado en el precio de bolsa asociado con este evento climático.
2. También se observa un incremento importante en esta variable entre agosto de 2000 y abril de 2001, originado principalmente por las restricciones en el sistema de transporte de energía ocasionadas por atentados en su infraestructura. Esta situación condujo a que agentes generadores, con posición dominante para atender la demanda en las zonas restringidas, incrementaran su ofertas por encima de sus costos marginales y en consecuencia, el precio de bolsa del sistema se incrementó considerablemente. Lo anterior dio lugar a que el regulador expidiera normas que

controlaran esta distorsión del mercado¹². Ésto sugiere introducir en el modelo una variable Dummy para aislar este efecto¹³.

Es de anotar, que a partir del 27 de febrero del año 2001 para el Despacho Económico Horario, las empresas generadoras comienzan a informar diariamente una única oferta de precio para las veinticuatro (24) horas por cada unidad térmica, planta hidráulica o interconexión internacional¹⁴.

3. Otro cambio importante en el precio de bolsa se aprecia durante el año 2006 en el cual, en su inicio, disminuye apreciablemente, luego comienza una senda ascendente presentando un pico en octubre (128\$/kWh), después comienza a disminuir hasta diciembre (64.99\$/kWh), para luego incrementar a un valor 107.05 \$/kWh en febrero de 2007. Estos cambios en el comportamiento del precio de bolsa de los agentes pueden verse influenciados por la introducción del nuevo esquema del cargo por confiabilidad a partir de diciembre de 2006¹⁵. Igualmente, como se detalla en el punto 5 siguiente, correspondiente al análisis de la serie NOAA, el fenómeno del niño que se pronosticaba en diciembre de 2005 y enero de 2006, con proyección de seis meses, realmente mostró anomalías positivas (de más de un °C) en los meses de septiembre y noviembre de 2006¹⁶, lo cual también pudo incidir en que el precio de bolsa incrementara. Lo anterior sugiere introducir en el modelo una variable Dummy para considerar este efecto¹⁷.
4. Del análisis de la serie NOAA que se ha tomado como referencia, que representa la expectativa climática que tienen los agentes en el mes $t+6$, ver Gráfica No 11, se puede observar los meses para los cuáles había expectativa de la presencia del fenómeno de “El Niño” o de “La Niña”. Es así como entre mayo y octubre de 1997, agosto de 2002, diciembre de 2005 y enero de 2006, la información de la serie NOAA para la franja ecuatorial del Océano Pacífico, mostraba expectativas de incrementos de temperatura con respecto al promedio trimestral de los últimos 25 años, superiores a un grado, lo cual era una señal de que se acercaba un “Niño”, seis meses hacia adelante. Por otro lado, también había expectativas de disminuciones con respecto a este mismo promedio, superiores a un grado, en los meses mayo a septiembre de 1998 y abril a agosto de 1999, lo cual era una señal de que se acercaba una “Niña”.

¹² Expidió la resolución CREG 031 del 13 de marzo de 2001, que establece reglas para remunerar a aquellos generadores que son requeridos por seguridad y que no son despachados en mérito.

¹³ Dado que las variables se representan en crecimiento, la variable dummy DSTN2001 que se simula recoge los cambios bruscos en la variable Pbolsa así definida.

¹⁴ Resolución CREG 026 de 2001

¹⁵ A partir de esta fecha se dio un cambio importante en la remuneración de la confiabilidad que aportan los generadores al sistema; se pasa de un esquema de Cargo por Capacidad que remuneraba capacidad instalada de los generadoras en función de la disponibilidad, a otro esquema que remunera la energía firme que es capaz de entregar una planta en condiciones de hidrología crítica.

¹⁶ Informe de Operación del Sistema y Administración del Mercado, XM 2006, p 27 y 28.

¹⁷ Se simula la variable dummy DCXC2001 que recoge los cambios bruscos en la variable Pbolsa representada en crecimientos.

Lo anterior sugiere introducir en el modelo alguna variable Dummy para considerar este efecto en los meses indicados¹⁸.

5. A partir del 20 de enero de 2009, con la expedición de la Resolución CREG 06/09, modificada por la Resolución CREG 15/09, se restringe la información del mercado Mayorista, publicándose solamente la información del precio de bolsa en el día de operación, el resto de información del mercado se publicaba tres meses más adelante pero de manera anónima¹⁹. El efecto de este cambio en el precio de bolsa se dio en los primeros días de su aplicación pero no se aprecian efectos a nivel mensual, que es como se representa esta serie.
6. A partir de septiembre de 2009, se expiden medidas de intervención del mercado, tanto por parte del Ministerio de Minas y Energía (MME) como de la CREG, con el objeto de obligar a que haya una mayor utilización de los recursos térmicos y a conservar el recurso hídrico, con el fin de afrontar el fenómeno de “El Niño” declarado por el MME en septiembre de 2009. Esta medida conllevó a incrementos o fluctuaciones considerables del precio de bolsa.
7. Finalmente, a partir de Octubre de 2009, las ofertas de los generadores térmicos deben separar los costos de arranque y parada (Resolución CREG 051/09). Con este cambio el regulador buscó eliminar la distorsión que generaba la recuperación de los costos de arranque y parada de las plantas térmicas, debido a la incertidumbre que tienen estos agentes, al momento de presentar sus ofertas, sobre la cantidad y tiempo que será despachado su recurso.

Para aislar los efectos en la formación del precio de bolsa de las medidas de intervención así como los derivados de la aplicación de la Resolución CREG 051/09, los datos de las series se considerarán hasta agosto de 2009.

6.5. Periodo propuesto de estimación

Con base en lo anterior, el periodo de análisis seleccionado estará comprendido entre abril de 1998, fecha posterior a la ocurrencia del fenómeno de El Niño de los años 1997 y 1998, y agosto de 2009, fecha previa a la intervención del mercado en el año 2009, a fin de no afectar los resultados del modelo con los efectos de estos dos eventos tan marcados en el funcionamiento del MEM.

¹⁸ Se simulan las variables dummy DNOAAP y DNOAAN para recoger los cambios bruscos en la variable Pbolsa representada en crecimientos, asociados expectativas del Fenómeno del “Niño” o de la “Niña”, respectivamente.

¹⁹ Esta restricción estuvo vigente hasta el 02 de octubre de 2009 (se levantó parcialmente por la Resolución CREG 127/09 y total por la Resolución CREG 159 /09; luego, la Resolución CREG 138/10 vigente, deja confidenciales, por un mes, sólo las ofertas de los agentes).

7. ESTIMACIONES Y PRUEBAS

7.1. Estimaciones por MCO (OLS)

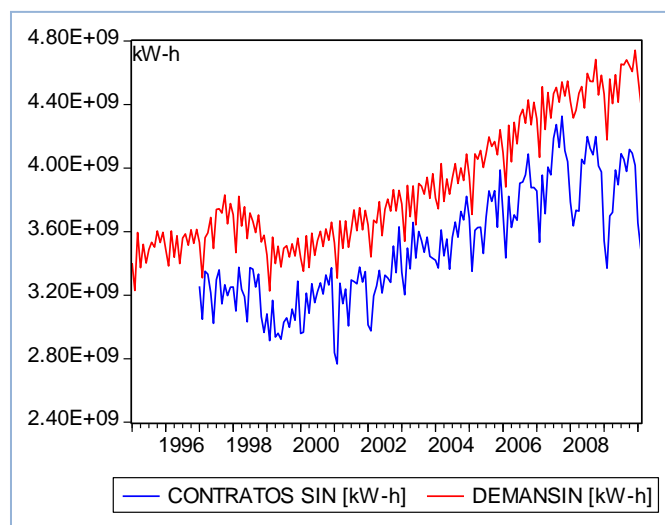
El modelo genérico indicado en el numeral 5, ecuación (13), expresado en tasas de crecimiento, es el siguiente:

$$\Delta pbolsa = C(1) * \Delta contratossin + C(2) * \Delta demansin + C(3) * \Delta volembalse(-1) + C(4) * \Delta aportessin + C(5) * \Delta noaa + C(6) * \Delta preciooil\$ + C(7) * \Delta preciogas\$ + C(8) * \Delta trm + C(10) \quad (15)$$

Los resultados obtenidos a través del modelo lineal estimado por OLS, representado por la ecuación anterior, se indican en la Tabla No 3 del Anexo 1, de los cuales se deduce que la variable $\Delta pbolsa$ es explicada por las variables $\Delta contratossin$, $\Delta volembalse(-1)$ y $\Delta aportessin$, que resultaron estadísticamente significativas en este modelo, mientras que no es explicada por las variables $\Delta demansin$, $\Delta noaa$, $\Delta preciooil\$$, $\Delta preciogas\$$ y Δtrm , que no resultaron estadísticamente significativas, por lo cual se formula un nuevo modelo sin estas variables.

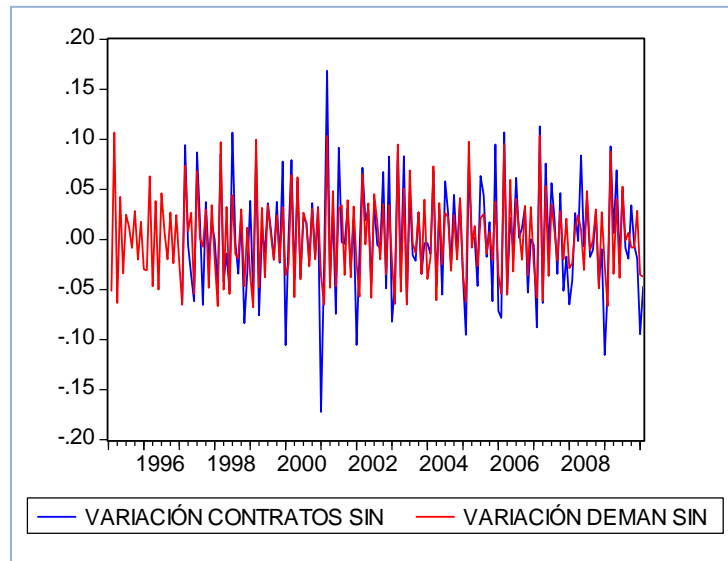
Se analizó la pertinencia de incluir la variable $\Delta demansin$, aunque no haya resultado estadísticamente significativa, para conocer su impacto sobre los cambios en el precio de bolsa, pero se encontró que está altamente correlacionada (**0.8279859**) con la variable $\Delta contratossin$ (Ver Tabla No 4 Anexo 1) por lo que se descarta en el modelo pues puede generar problemas de colinealidad. Lo anterior se puede corroborar de las gráficas 14 y 15.

Gráfica No 14: Contratos del Generador vs Demanda del SIN en niveles



Fuente: XM y cálculos propios

Gráfica No 15: Contratos del Generador vs Demanda del SIN en crecimientos



Fuente: XM y cálculos propios

No obstante lo anterior, al considerar en la regresión la variable $\Delta\text{contratossin}$ como variable explicativa de los cambios en el precio de bolsa, que resultó altamente correlacionada con la demanda del SIN, también se estaría obteniendo información relacionada con esta variable.

Se construye entonces un nuevo modelo sin estas variables, además se incluyen variables Dummy para reflejar los efectos de cambios estructurales que se han identificado asociados con los atentados en el sistema de transmisión en los años 2000 y 2001, cambios en el esquema de cargo por confiabilidad y anomalías ocurridas en la temperatura del Océano Pacífico de más de un °C, en el año 2006, y expectativa de la ocurrencia del fenómeno de “El Niño” (años 2002 y 2005) o de “La Niña” (año 1998). Estas dummies son: **DSTN2001**, **DCXC2006**, **DNOAAP** y **DNOAAN**. Con este nuevo modelo, y después de analizar sus funciones de autocorrelación (**ACF**) y autocorrelación Parcial (**PACF**) (Ver Gráfica No 21, Anexo 1), éstas sugieren la inclusión de modelos AR para los rezagos 7, 9 y 13, con lo cual el nuevo modelo queda representado en la siguiente ecuación:

$$\Delta pbolsa = C(1)*\Delta\text{contratossin} + C(2)*\Delta\text{contratossin}\$Kwh + C(3)*\Delta\text{comprasbolsa} + C(4)*\Delta\text{ventasnetasbolgen} + C(5)*\Delta\text{volembose}(-1) + C(6)*\Delta\text{aportessin} + C(7) + C(8)*\text{Dstn2001} + C(9)*\text{Dcxc2006} + C(10)*\text{Dnoaap} + C(11)*\text{Dnoaan} + [\text{Ar}(7)=C(12), \text{Ar}(9)=C(13), \text{Ar}(13)=C(14)] \quad (16)$$

Los resultados del modelo representado por la ecuación anterior, se muestran en la Tabla No 1, de los cuales se concluye, en primera instancia, que cambios en la variable Precio de Bolsa (Δpbolsa) son explicados por las variables $\Delta\text{contratossin}$, $\Delta\text{contratossin}\kwh ,

Δ **comprasbolsa**, Δ **ventasnetasbolgen**, Δ **aportessin**, que resultaron estadísticamente significativas. Además por las dummy **DNOAAN**, **DSTN2001**, **DCXC2006**, que también son estadísticamente significativas. La variable Δ **volembalse(-1)** no resultó estadísticamente significativa al igual que la dummy **DNOAAP**.

Tabla No 1: Resultados Regresión obtenida por OLS

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Δ CONTRATOSSIN	0.582074	0.206436	2.819631	0.0056
Δ CONTRATOSSIN\$KWH	1.513793	0.376095	4.025027	0.0001
Δ COMPRASBOLSA	-0.285141	0.064257	-4.437496	0.0000
Δ VENTASNETASBOLGEN	-0.138844	0.040518	-3.426699	0.0008
Δ VOLEMBALSE(-1)	-0.183705	0.101597	-1.808167	0.0730
Δ APORTESSIN	-0.180673	0.043648	-4.139307	0.0001
C	-0.002427	0.008023	-0.302473	0.7628
DSTN2001	0.131804	0.023435	5.624156	0.0000
DCXC2006	0.238219	0.052222	4.561683	0.0000
DNOAAP	0.101424	0.071625	1.416057	0.1593
DNOAAN	0.293564	0.067366	4.357780	0.0000
AR(7)	-0.285539	0.063634	-4.487208	0.0000
AR(9)	0.183089	0.062511	2.928919	0.0041
AR(13)	-0.232771	0.062497	-3.724495	0.0003
R-squared	0.629420	Mean dependent var	0.002407	
Adjusted R-squared	0.590252	S.D. dependent var	0.172806	
S.E. of regression	0.110616	Akaike info criterion	-1.468923	
Sum squared resid	1.505013	Schwarz criterion	-1.170530	
Log likelihood	114.6212	F-statistic	16.07013	
Durbin-Watson stat	2.359876	Prob(F-statistic)	0.000000	

Estos resultados muestran también el estadístico **Durbin-Watson** igual a **2.359876**, lo cual significa que no existen problemas de correlación en los residuales, además de que son Ruido Blanco (ver Gráfica No 22, Anexo 1), además se tiene un R^2 de **0.629420** que representa que no existen problemas de especificación del modelo²⁰.

²⁰ Se hace una sensibilidad para validar el efecto de las dummy **Dnoaap** y **Dnoaan** retirándolas del modelo, y se observa una leve disminución en los estadísticos Durbin-Watson y R^2 siendo estos de 2.192842 y 0.569940, respectivamente, con residuales Ruido Blanco. Los coeficientes de las variables principales son muy similares y se obtiene que la variable Δ **volembalse(-1)** es estadísticamente significativa en esta ocasión, conservando el signo que presentó en la Tabla No 1. Los resultados de esta sensibilidad se muestran en la Tabla No 5 y Gráfica No 23 del Anexo 1.

El nuevo modelo es el siguiente:

$$\begin{aligned} \Delta pbolsa = & 0.5820740855 * \Delta contratossin + 1.513792656 * \Delta contratossin \$Kwh - \\ & 0.2851409922 * \Delta comprasbolsa - 0.1388437925 * \Delta ventasnetasbolgen - 0.1837049632 * \Delta volembalse(-1) - \\ & 0.1806733778 * \Delta aportessin - 0.002426612664 + 0.1318035282 * Dstn2001 + 0.2382192038 * Dcxc2006 + \\ & 0.1014244143 * Dnoaap + 0.2935642168 * Dnoaan + [Ar(7)=-0.285539279, Ar(9)=0.1830886865, Ar(13)=- \\ & 0.2327713487] \end{aligned} \quad (17)$$

Dado que la variable $\Delta aportessin$ es una variable que se construye considerando el **caudal medio²¹ mensual histórico** en energía para los ríos del SIN, se hace una sensibilidad considerando la información disponible para esta variable, pero a partir de los **aportes mensuales reales** de los ríos del SIN (la información para esta serie sólo se encuentra disponible desde junio del año 1998). Los resultados de esta sensibilidad, considerando esta variable y todas las demás iniciando en junio del año 1998²², se muestran en el Anexo 3 (Gráficas 26, 27 y 28 y Tabla 10), encontrándose un buen ajuste para esta regresión (**Durbin-Watson** igual a **2.010582** y un R^2 de **0.603129**) con residuales Ruido Blanco y estacionarios. La variable $\Delta volembalse(-1)$ resulta estadísticamente significativa con un peso del 32% y todas las demás variables que aparecen en la ecuación (17) conservan el mismo signo. En este caso la serie **DNOAAN** no se considera pues quedó por fuera del periodo de análisis por el cambio que se hizo en el inicio de las series. Se aclara que esta variable en la ecuación (17), que considera todas las series iniciando en abril de 1998, fue significativa con un peso del 29.3%.

7.2. Pruebas

Se realizó el test “Augmented Dickey Fuller” para verificar el grado de integración de las variables y si los residuales son estacionarios (Ver Tablas No 6 y 7 Anexo 2). Aunque las variables $\Delta contratossin \$kwh$ y $\Delta aportessin$ dieron integradas de orden uno, de las Gráficas 3 y 7 se verifica que éstas son estacionarias en media y en varianza, en el periodo de análisis (1998-2009). Además, las funciones **ACF y PACF** de los residuales (**Uf**) en la regresión del modelo final, muestran que éstos son estacionarios y además Ruido Blanco (Ver Gráficas No 24 y 25 y tabla No 8 del Anexo 2).

Con el fin de verificar posibles problemas de endogeneidad, se realizaron pruebas de exogeneidad débil y fuerte en las variables sobre las cuales existe alguna posibilidad de que no lo sean dado que pueden verse afectadas por expectativas de los agentes con respecto al costo de su recurso y en consecuencia, del precio de bolsa. Estas variables fueron $\Delta Contratos$, $\Delta contratos \$kwh$, $\Delta comprasbolsa$, $\Delta ventasnetasbolgen$ y $\Delta volembalse(-1)$ ²³.

²¹ Obtenido como el promedio de los valores de cada mes para todos años con información disponible.

²² La serie que ajusta el modelo realmente inicia en febrero de 1999

²³ Sobre las demás variables (Variable en crecimiento de: Aportes SIN, Demanda SIN (asumida como inelástica), NOAA, TRM, Precio del Gas de Referencia y Precio del Fuel Oil de Referencia), no se hace esta prueba pues no tienen ninguna relación con el Precio de Bolsa.

Los resultados de estas pruebas se muestran en la Tabla No 9 del numeral 3 del Anexo 2, de la cual se puede concluir que pueden existir problemas de endogeneidad con las variables $\Delta\text{contratos}$, $\Delta\text{contratos\$kwh}$, $\Delta\text{comprasbolsa}$ y $\Delta\text{volembalse}(-1)$, lo que puede representar que los estimadores obtenidos por el método de **OLS**, no sean consistentes. Con el fin de controlar por endogeneidad, se realizan las estimaciones por Variables Instrumentales (VI) tomando como instrumentos las variables que en el test de exogeneidad resultaron endógenas²⁴.

7.3. Estimaciones por VI

Los resultados por **VI** se muestran en la tabla No 2.

Tabla No 2: Resultados Regresión obtenida por VI

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
$\Delta\text{CONTRATOSSIN}$	0.556896	0.251921	2.210595	0.0289
$\Delta\text{CONTRATOSSIN\$KWH}$	1.235358	0.565466	2.184670	0.0308
$\Delta\text{COMPRASBOLSA}$	-0.274615	0.085420	-3.214868	0.0017
$\Delta\text{VENTASNETASBOLGEN}$	-0.162223	0.062712	-2.586796	0.0109
$\Delta\text{VOLEMBALSE}(-1)$	-0.136022	0.124733	-1.090512	0.2776
$\Delta\text{APORTESSIN}$	-0.193056	0.054309	-3.554799	0.0005
C	0.001931	0.009155	0.210944	0.8333
DSTN2001	0.161812	0.035358	4.576362	0.0000
DCXC2006	0.259490	0.088205	2.941896	0.0039
DNOAAP	0.010899	0.135015	0.080724	0.9358
DNOAAN	0.322809	0.083424	3.869489	0.0002
AR(7)	-0.286732	0.067129	-4.271354	0.0000
AR(9)	0.170596	0.065764	2.594062	0.0106
AR(13)	-0.207046	0.067402	-3.071787	0.0026
R-squared	0.614870	Mean dependent var	0.002407	
Adjusted R-squared	0.574166	S.D. dependent var	0.172806	
S.E. of regression	0.112766	Sum squared resid	1.564101	
F-statistic	9.586282	Durbin-Watson stat	2.376895	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Con el fin de verificar cuáles estimadores son más consistentes y poder definir el modelo a utilizar, se examina si los resultados obtenidos por medio de **VI** no presentan diferencias

²⁴ Una buena aproximación de variables que sirvan como instrumentos son los retardos de las variables que presentan simultaneidad (en nuestro caso, se toman de tres retardos adicionales). Ver Kennedy (2008).

estadísticamente significativas con los encontrados por **OLS** (Ver Tabla No 1), para lo cual se aplica el Test de Hausman²⁵. Bajo este test, la hipótesis nula es:

Ho: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los resultados hallados por medio de los dos enfoques utilizados (**OLS y VI**).

En los casos analizados, la suma de los cuadrados de los residuales por **VI** es 1.564101 (ver Tabla No 2) y por **OLS** es 1.505013 (ver Tabla No 1), esto implica que:

$$2 * (1.564101 - 1.505013) \rightarrow \chi^2_{137-12}$$

$0.058088 \rightarrow \chi^2_{125}$, para un nivel de confianza del 95% (=nivel de significancia del 5%), el dato teórico para N-k=125 es 163.1

$0.058088 \rightarrow \chi^2_{125}$, para un nivel de confianza del 99% (=nivel de significancia del 1%), el dato teórico para N-k=125 es 176.1

Estos resultados sugieren no rechazar la hipótesis nula **Ho** ya que el valor observado para el test es menor que el valor teórico, esto es, no existe diferencia estadísticamente significativa entre los resultados hallados por medio de los dos enfoques utilizados (**OLS y VI**) y por lo tanto, se toman los estimadores utilizados por **OLS** por ser más robustos estadísticamente.

8. RESULTADOS

Con base en los coeficientes obtenidos de la ecuación (17), se puede concluir lo siguiente:

1. El mayor efecto en los cambios en la variable $\Delta pbolsa$ está representado por los cambios en la variable $\Delta contratossin\$Kwh$ con un peso del 151.3%, le sigue la variable $\Delta contratossin$, con un peso del 58.2%, siendo estas dos variables de signo positivo lo cual significa que un aumento en la variable $\Delta contratossin\$Kwh$ del 100%, hace que la variable $\Delta pbolsa$ aumente un 151%. Así mismo, un aumento en la variable $\Delta contratossin\$Kwh$ del 100%, hace que la variable $\Delta pbolsa$ aumente un 58%.
2. El efecto de los cambios en las variables $\Delta comprasbolsa$ y $\Delta ventasnetasbolgen$ es del -28.51% y -13.88%, respectivamente, lo cual significa que un aumento del 100% en la variable $\Delta comprasbolsa$ de los generadores para cubrir sus contratos

²⁵ Este método consiste en comparar la suma de los cuadrados de los residuales obtenidos con OLS y VI.

El estadístico es: $2 * (L^*1 - L^*0) \rightarrow \chi^2_{N-K}$, donde: L1: Suma de los cuadrados de los residuales por **VI**; L0: Suma de los cuadrados de los residuales por **OLS**; **N-K**: grados de libertad

hace que la variable $\Delta pbolsa$ disminuya un 28.51%. Así mismo, un aumento del 100% en la variable $\Delta ventasnetasbolgen$ en la Bolsa hace que la variable $\Delta pbolsa$ disminuya un 13.88%.

3. El efecto de los cambios en las variables $\Delta volembalse(-1)$ y $\Delta aportessin$ es del -18.37% y -18.06%, respectivamente, lo cual significa que un aumento en la variable $\Delta volembalse(-1)$ del 100%, hace que la variable $\Delta pbolsa$ disminuya un 18.37%. Así mismo, un aumento en la variable $\Delta aportessin$ del 100%, hace que la variable $\Delta pbolsa$ disminuya un 18.06%.
4. Los coeficientes de las Dummy **Dnoaan**, **Dstn2001**, **Dcxc2006**, consideradas para recoger el efecto de cambios estructurales, resultaron ser significativos corroborando su efecto, excepto para la variable **Dnoaap** que no es estadísticamente significativa.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

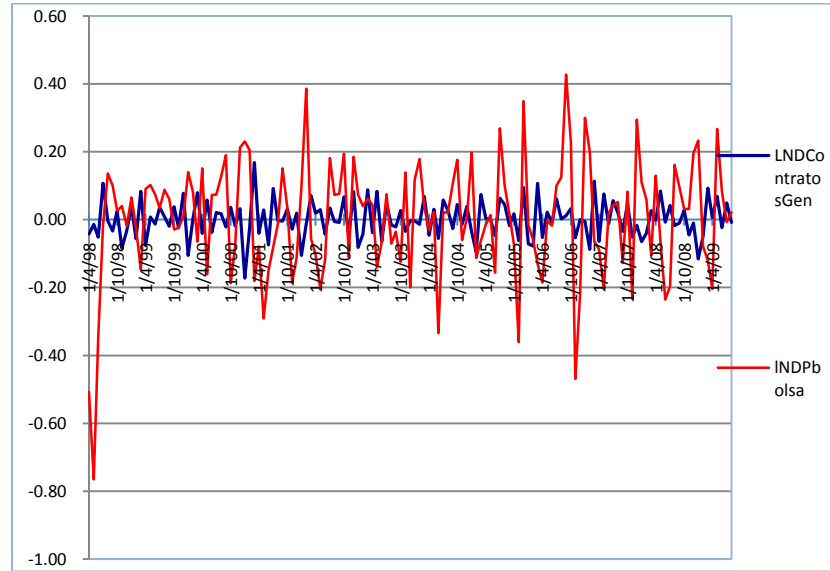
1. Inicialmente los análisis se centrarán sobre la variable $\Delta contratossin$ cuyo signo servirá para aceptar o rechazar la hipótesis nula **H₀**. El coeficiente de esta variable dio positivo, con un valor de **0.582074**. Esto significa que variaciones que se presenten en la variable " $\Delta contratossin$ ", representan variaciones en el mismo sentido (con el mismo signo) en la variable " $\Delta pbolsa$ ", esto es, incrementos en la magnitud de los **contratos de largo plazo del SIN**, se reflejan en incrementos en el **precio de bolsa** del Sistema, o por el contrario, disminuciones en la magnitud de los **contratos de largo plazo**, se reflejan en disminuciones en el **precio de bolsa** del sistema.

Con base en lo anterior, **no se confirma la Hipótesis planteada en esta investigación**. Esto significa, para el periodo de análisis, que no se puede concluir que en la medida que aumentó el nivel de contratación de los agentes en el MEM el precio de bolsa disminuyó.

Con el objeto de validar si el signo obtenido en la regresión para la variable $\Delta contratossin$ tiene sentido desde el punto de vista del funcionamiento del mercado, se grafican, a partir de datos del mercado, las variables precio de bolsa y contratos netos de los generadores, tanto en crecimiento como en niveles, así como también, las variables generación real Vs contratos netos del generador.

De las series de datos y gráficas de las variables en crecimiento $\Delta contratossin$ y $\Delta pbolsa$, se puede constatar que aproximadamente un 51% de los meses en el periodo de análisis, aún eliminado los datos asociados con cambios estructurales, cambios en la magnitud de los contratos conllevan a cambios en el mismo sentido en la magnitud del precio de bolsa. Ver Gráfica No 16.

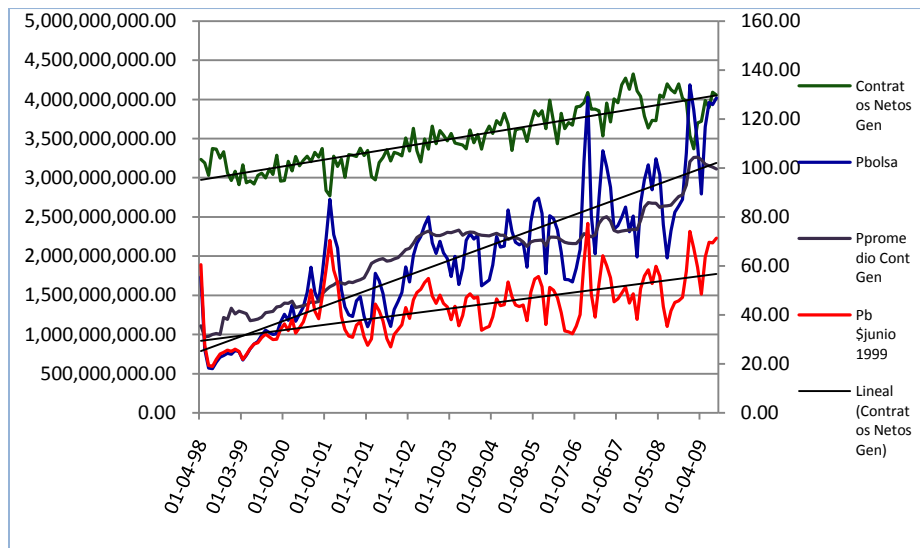
Gráfica No 16: Δ Precio de bolsa Vs Δ Contratos Netos Generador



Fuente: XM y cálculos propios

De la gráfica siguiente, en la cual se representan las variables en niveles Precio de Bolsa y Contratos Netos del Generador, se observa claramente que existe una tendencia creciente en la magnitud de los contratos, tendencia que también se observa en el precio de bolsa, ya sea esta variable expresada en pesos corrientes o en pesos constantes. Ver Gráfica No 17.

Gráfica No 17: Precio de Bolsa Vs Contratos Netos Generador

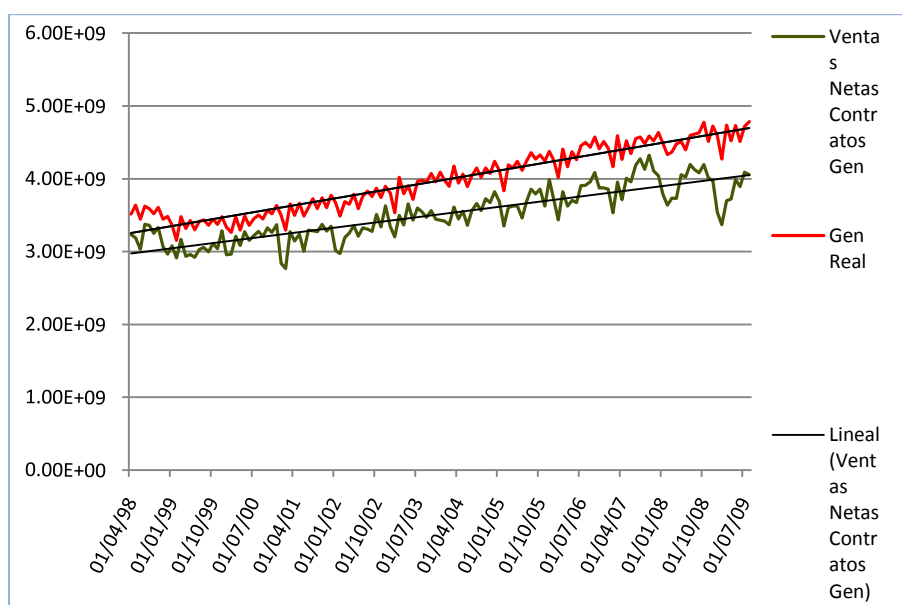


El eje izquierdo de las ordenadas está en kWh-mes y el derecho en \$/kWh.

Fuente: XM y cálculos propios

Por otro lado, de la Gráfica No 18, en la cual se representan las variables en niveles Generación Real Vs Contratos Netos Generador, se puede observar cómo la magnitud de los contratos netos de los generadores, que cubren un buen porcentaje de la demanda del SIN, crece a una tasa menor que la generación real de los mismos²⁶, esto es, el porcentaje de ventas en contratos de los generadores ha venido disminuyendo, en términos relativos, con respecto a la generación total, lo cual puede incidir en que el efecto de incrementos en las ventas de los generadores vía contrataros de Largo Plazo, no tenga el efecto que se esperaba sobre el precio de bolsa, es decir, que conlleven a disminuciones en el mismo.

Gráfica No 18: Generación Real Vs Contratos Netos Generador



El eje de las ordenadas está en kWh-mes. Fuente: XM y cálculos propios

Con base en el anterior análisis, existen elementos de mercado que pueden explicar la correlación positiva obtenida en la regresión entre cambios en la magnitud de los contratos de los generadores y cambios en el precio de bolsa. Uno de ellos es que un buen porcentaje de los cambios en estas variables conservan el mismo signo; otro puede ser que la tasa creciente en el nivel de contratación de los generadores se dé como respuesta a la tendencia creciente en el precio de bolsa lo cual implica mayores requerimientos por parte de los agentes comercializadores que esperan cubrirse, por un lado, contra la volatilidad del precio de bolsa, pero por el otro, ante los incrementos que viene presentando el mismo; y otra razón puede ser que, aunque hay una tendencia crecientemente en la tasa de contratación, ésta crece a una tasa menor que la del crecimiento de la demanda.

²⁶ Generación con la cual se atiende toda la demanda del SIN

No obstante lo anterior, como se verá en los puntos 2 y 3 de este numeral, existen otras variables asociadas con los contratos, como lo son cambios en las compras en bolsa de los generadores para atender contratos y cambios en el precio de los contratos, que permitirán profundizar en el análisis del porqué de esta tendencia en los cambios en el precio de bolsa con respecto al cambio en el nivel de contratación de los generadores.

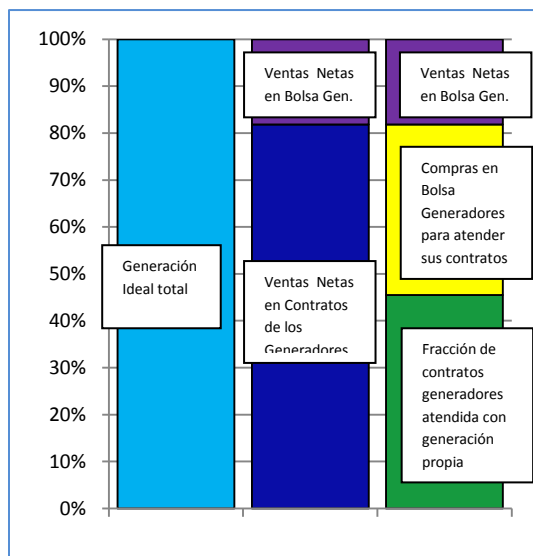
2. Con respecto a signo negativo que se obtuvo para la variable $\Delta\text{comprasbolsa}$ del generador (**-0.285141**), éste significa que en la medida en que incrementen las compras en bolsa de los generadores para cubrir sus contratos, el precio de bolsa tiende a disminuir. Esta situación puede darse por lo siguiente:

Cuando parte de los contratos del generador son atendidos mediante compras en bolsa, puede suceder que el recurso del generador está por encima del precio de bolsa y el agente prefiere comprar en la bolsa que utilizar sus recursos. Ante una situación como ésta, cambios positivos en la magnitud de las compras en bolsa de los generadores pueden estar asociados precisamente, a disminuciones en el precio de la bolsa y, en consecuencia, los agentes incrementan sus compras en bolsa para cubrir sus contratos. También puede suceder que las compras en bolsa de los agentes aumenten en la medida en que están más contratados, si deben comprar en bolsa tienen el incentivo a tratar de reducir el precio en bolsa ofertando sus recursos a un precio inferior a su costo para romper el equilibrio en la bolsa y motivar una reducción, sin embargo, las ofertas inferiores al costo son sólo de corta duración. Estos hechos explicarían el signo de la variable $\Delta\text{comprasbolsa}$.

3. Con respecto a la variable $\Delta\text{contratossin}\Kwh , se observa que su signo es positivo y es la variable que mayor peso tiene en la regresión, lo que evidencia que cambios en el precio promedio de los contratos del SIN inciden significativamente, y en el mismo sentido, sobre los cambios en el precio de bolsa. Una razón que puede explicar lo anterior es que debido a la tendencia creciente en los niveles de contratación de los generadores, lo cual puede estar sucediendo como respuesta a mayores requerimientos por parte de los agentes comercializadores ante la tendencia creciente en el precio de bolsa, tal como se señala en el numeral uno de este capítulo, la mayor demanda de parte de estos agentes por contratos de corto plazo puede inducir a que el precio de estos contratos se incremente.
4. El coeficiente de la variable $\Delta\text{ventasnetasbolgen}$ también presenta signo negativo con un valor de **-0.138844**, variable que representa la diferencia entre $\Delta\text{ventas en bolsa}$ y $\Delta\text{compras en bolsa}$, ambas del generador. Como las ventas netas en bolsa del generador también son iguales a la generación total menos las ventas netas en contratos de los generadores (ver Gráfica No 19), para un nivel dado de la generación, incrementos el nivel de ventas en contratos del generador, esto es, incrementos en la variable $\Delta\text{contratossin}$, conllevan a disminuciones en las ventas netas en bolsa, y como ya se verificó en el punto uno de este numeral, incrementos en el nivel de

ventas en contratos se reflejan en incrementos en el precio de bolsa. En consecuencia, disminuciones en las ventas netas en bolsa se reflejan en incrementos en el precio de bolsa o aumentos en las ventas netas se reflejan en disminuciones en el precio de bolsa, lo cual es concordante con el signo negativo obtenido para esta variable en la regresión.

Gráfica No 19: Transacciones en Contratos y en Bolsa de los Generadores

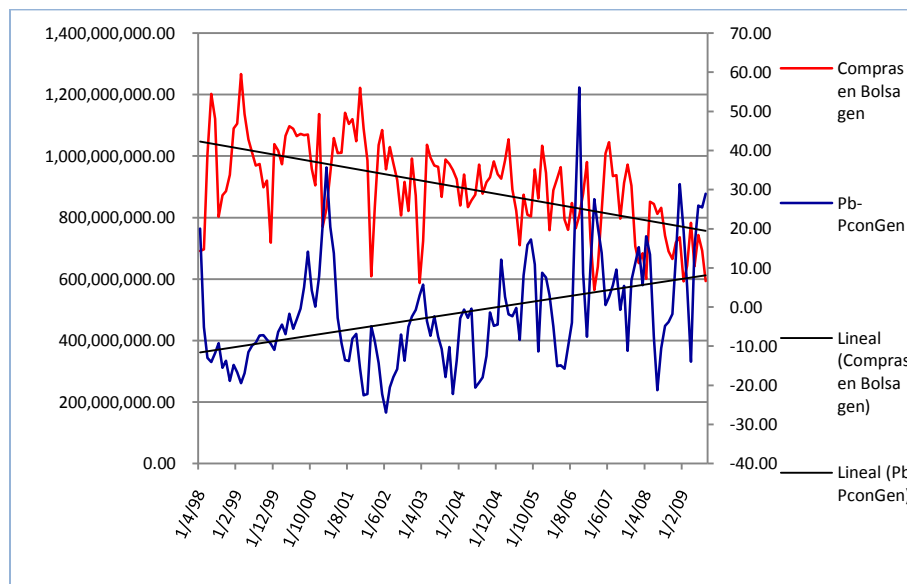


- Finalmente, sobre las variables $\Delta \text{volembalse}(-1)^{27}$ y $\Delta \text{aportessin}$, que representan fundamentales del mercado, sus coeficientes presentan signos negativos (**-0.183705** y **-0.180673** respectivamente), lo que corresponde con el comportamiento esperado del precio de bolsa frente a variaciones en variables como nivel del embalse agredo del SIN y aportes de los ríos al sistema. Incrementos en el embalse o en los aportes, conllevan a disminuciones en el precio de bolsa, o viceversa, disminuciones en el embalse o en los aportes, conllevan a incrementos en el precio de bolsa, que es lo esperado con estas variables fundamentales, pues reflejan la disponibilidad o no del recurso hídrico, en un sistema que como el Colombiano, posee una alta componente hidráulica.
- Por otro lado, y como complemento al análisis del punto 2 sobre la variable en diferencias $\Delta \text{comprasbolsa}$, si se examina gráficamente las variables en niveles (**Precio de bolsa menos Precio promedio de los contratos del generador**) Vs **Compras en Bolsa de generador** (Ver Gráfica No 20), se observa cómo en la medida en que aumenta la diferencia entre el precio de bolsa y el precio promedio de los contratos del generador (aumento que puede darse debido a que el precio de bolsa

²⁷ Aunque esta variable resulto ser no significativa, con algunas sensibilidades muestra ser significativa, conservando el signo y su peso. Por tal razón la consideramos en la regresión, pues da información relevante para el modelo.

aumentó o porque el precio promedio de los contratos disminuyó), el nivel de compras en bolsa de los generadores disminuye. Este comportamiento, aunque está basado en información agregado del sistema, muestra una tendencia general de cómo los agentes generadores tienen el incentivo a generar más con sus propios recursos (compran menos en bolsa) en la medida en que el precio de bolsa se aleja, por encima, del precio promedio de sus contratos. Este comportamiento, dado que se hace a partir de información agregada, sería importante validarlo a nivel individual de los agentes, lo cual ya no corresponde con el alcance de este estudio.

Gráfica No 20: (Pbolsa-Pcontratos generador) Vs Compras en Bolsa de generador



El eje izquierdo de las ordenadas está en kWh-mes y el derecho en \$/kWh.

Fuente: XM y cálculos propios.

10. CONCLUSIONES

1. Con base en el modelo lineal estimado por MCO (corroborado después de estimar por VI aplicando el test de Hausman), mediante el cual se representan los cambios en el precio de bolsa como función de los cambios en el nivel de ventas en contratos de los generadores en el MEM y de otras variables del mercado, no se acepta la Hipótesis formulada, que indicaba, que incrementos en el nivel de ventas en contratos de los generadores conllevarían a disminuciones en el precio de bolsa. La evidencia encontrada en el periodo de análisis muestra una relación directa entre los cambios en la magnitud de las ventas en contratos de los generadores y los cambios en el precio de bolsa.
2. Existe evidencia adicional del mercado que corrobora la correlación positiva obtenida entre estas dos variables, una de ellas es que, en un alto porcentaje, los cambios en

estas dos variables, en el periodo de análisis, conservan el mismo signo; otra es que existe una tendencia creciente tanto en el nivel de ventas en contratos de los generadores como en el precio de bolsa, pudiendo ser el incremento en la contratación una respuesta a una mayor demanda de contratos de corto plazo por parte de los comercializadores que esperan cubrirse de los incrementos que viene presentando el precio de bolsa; y otra es que, aunque hay una tendencia creciente en la tasa de ventas en contratos de los generadores, ésta lo hace a una tasa menor que la del crecimiento de la demanda del SIN, lo cual no logra incidir en que el precio de bolsa disminuya.

3. Si bien se encuentra evidencia que corrobora la relación positiva entre el precio de bolsa y en el nivel de contratación, puede ser que al mismo tiempo los costos de generación²⁸ hayan aumentado durante el periodo de análisis y por tanto, el incremento en el precio de bolsa no estaría relacionado con aumentos del poder de mercado. No obstante, como se mencionó en el objetivo, el análisis del Poder de Mercado no es el alcance de esta investigación.
4. Existen otras variables asociadas con los contratos, como lo son: cambios en el precio de los contratos y cambios en las compras en bolsa de los generadores para atender contratos, que pueden complementar los análisis del porqué de esta tendencia en los cambios en el precio de bolsa con respecto al cambio en el nivel de contratación de los generadores. De su análisis se encuentra que el comportamiento de los agentes generadores en el mercado se ve influenciado dependiendo del valor de sus recursos, o del precio que tengan sus contratos, frente al precio de bolsa. Entre mayor sea la diferencia entre el precio de bolsa y estas variables, siendo el precio de bolsa mayor, mayor incentivo tendrá el generador para generar con sus propios recursos; si el precio de bolsa es menor, el incentivo es a comprar en bolsa²⁹.

Esto implica que el agente se mueve (arbitra) entre comprar para atender sus contratos o generar para atenderlos, incluso vender excedentes a la bolsa, buscando maximizar sus beneficios, sin que lo anterior esté representando que incrementos en la contratación tiendan a disminuir el precio de la bolsa, pues esta variable, como lo muestra la regresión obtenida, incrementa en la medida en que se presentan incrementos en el precio de los contratos y en su magnitud. Las disminuciones realmente se están presentando cuando el agente aumenta sus compras en bolsa para atender sus contratos.

5. Los resultados anteriores ameritan continuar profundizando en la forma como se están contratando los agentes, como por ejemplo, la posible incidencia en la formación del precio de bolsa el tener un nivel tan alto de contratación, la duración de los contratos y

²⁸ Se intentó reflejar los costos de las plantas térmicas en el modelo econométrico pero las variables de costos de gas y del Fuel Oil, que se introdujeron en el modelo no resultaron ser significativas.

²⁹ Se debe tener en cuenta que estos análisis parten de información agregada del sistema y por tanto este comportamiento de los agentes se debe validar a nivel individual de los agentes, lo cual ya no corresponde con el alcance de este estudio.

su periodo de planeamiento, la asimetría entre las empresas. Igualmente, es importante complementar los análisis considerando las particularidades de actuación de los agentes, ya que esto podría arrojar información adicional diferente a la obtenida con información agregada del sistema.

6. Es importante anotar que dada la dificultad para la estimación de costos marginales, para un sistema fundamentalmente hidráulico, además de la dificultad de obtener información confiable de los costos de producción de las pantas térmicas³⁰ (tanto por el costo de los combustibles como por el tipo de contratación), que permita una aproximación al poder de mercado, definido como el Mark-up entre el precio y el costo marginal; el análisis en esta investigación se concentró en analizar el efecto que tiene el nivel de contratación en el mercado eléctrico en la formación del precio de bolsa. Lo anterior se convierte en una limitación de la investigación, sin embargo se obtienen unos resultados acordes al funcionamiento del mercado, para el periodo de análisis.

11. BIBLIOGRAFIA

- [1] Allaz Blaise and Vila, Jean-Luc, (1993). "Cournot Competition, Forward Markets and Efficiency," *Journal of Economic Theory*, 59, pp. 1-16.
- [2] Borenstein, S., J. Bushnell 1999 , "An empirical Analysis of the Potencial for Market Power in California's Electricity Industry", *Journal of Industial Economics*, Vol. 47, issue 3.
- [3] Canavos, George C. "Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y Métodos". Virginia Commonwealth University, 1988.
- [4] Church J. and Ware R. "Industrial Organization: A Strategic Approach". McGraw-Hill. 1999.
- [5] de Frutos, M.A. y N. Fabra (2008). "On the Impact of Forward Contract Obligations in Multi-Unit Auctions". CEPR Discussion Capítulo no. 6756.
- [6] de Frutos, M.A. y N. Fabra (2009), "How to Allocate Forward Contracts, The case of electricity markets", Universidad Carlos III de Madrid, 16 December 2009.
- [7] Green, Richard R. (1999). "The Electricity Contract Market in England and Wales" *Journal of Austrial Economics*, Vol. 47, No. 1, March 1999, 107-24. ISSN: 0022-1821.
- [8] Greene, William H. "Econometric Analysis". New York University. Prentice Hall. Fifth Edition. 2003
- [9] Hausman, J. A. (1978) "Specification Tests in Econometrics". *Econometrica*, Vol. 46, Issue 6, p. 1251-1271.
- [10] Información de precios de gas de Guajira, pagina web ECOPETROL. <http://www.ecopetrol.com.co/>.
- [11] Información de predicción de Niño-Niña, página web de la "National Oceanic Admospheric Administration -NOAA-". <http://www.elnino.noaa.gov/forecast.html>.

³⁰ Lo cual se intentó introducir mediante las variables de precios de combustibles pero no resultaron significativas en la regresión lineal obtenida.

- [12] Información del “New York Harbor Residual Fuel Oil 1.0 % Sulfur LP Spot Price CIF, página web de la “US Enenergy Information Administration-EIA-”. <http://www.eia.doe.gov/>.
- [13] Resolución CREG 055 de 1994. Página Web Comisión de Regulación de Energía y Gas. <http://www.creg.gov.co/>
- [14] Resoluciones CREG 024 y 025 de 1995. Página Web Comisión de Regulación de Energía y Gas. <http://www.creg.gov.co/>
- [15] Resolución CREG 026 de 2001. Página Web Comisión de Regulación de Energía y Gas. <http://www.creg.gov.co/>
- [16] Resoluciones CREG 051, 127 y 159 de 2009. Página Web Comisión de Regulación de Energía y Gas. <http://www.creg.gov.co/>
- [17] Tirole, Jean.”La teoría de la Organización Industrial”. Editorial Ariel, S.A. Barcelona. 1988.
- [18] Wolak, F.A. (2000). “An Empirical Analysis of the Impact of Hedge Contracts on Bidding Behavior in a Competitive Electricity Market”. International Economical Journal of Economics. Volumen 14, número 2, 1-39. Stanford University.
- [19] Wolak F.A. (2007) “Quantifying the Supply-side Benefits from Forward Fontracting in Wholesale electricity markets”, Department of economics, Stanford University, Stanford, California, USA 2007.
- [20] XM (2005). Informe de Operación del Sistema y Administración del Mercado, XM 2006, p 27 y 28. Disponible en:
<http://www.xm.com.co/Pages/InformesEmpresariales.aspx>.

ANEXO 1

Tabla No 3: Estimaciones por OLS regresión con variables de modelo genérico

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Δ CONTRATOSSIN	1.163347	0.449611	2.587453	0.0108
Δ DEMANSIN	-0.983902	0.557920	-1.763518	0.0802
Δ VOLEMBALSE(-1)	-0.393212	0.151969	-2.587438	0.0108
Δ APORTESSIN	-0.328413	0.061886	-5.306755	0.0000
Δ NOAA	0.079203	0.072008	1.099916	0.2734
Δ PRECIOOIL\$	-0.056755	0.128834	-0.440529	0.6603
Δ PRECIOGAS\$	0.037874	0.144234	0.262588	0.7933
Δ TRM	0.357716	0.377851	0.946710	0.3456
C	0.005487	0.013499	0.406459	0.6851
R-squared	0.238351	Mean dependent var	0.002407	
Adjusted R-squared	0.190748	S.D. dependent var	0.172806	
S.E. of regression	0.155454	Akaike info criterion	-0.821500	
Sum squared resid	3.093233	Schwarz criterion	-0.629677	
Log likelihood	65.27276	F-statistic	5.007052	
Durbin-Watson stat	1.727036	Prob(F-statistic)	0.000020	

Tabla No 4: Matrix de Correlación de Variables

	LNDPBOLSA	LNDCONTRATOSSIN	LNDCONTRATOSSIN\$KWH	LNDCOMPRASBOLSA	LNDVENTASNETASBOLG	LNDVOLEMBALSA	LNDAPORTESSIN	LNDDEMANSIN	LNDNOAA	LNDPRECIOGAS\$
LNDPBOLSA	1	-0.083997691	0.244830922	-0.301119257	0.076015621	-0.331681375	-0.335326086	-0.091509941	0.1078011	0.106714702
LNDCONTRATOSSIN	-0.08399769	1	-0.084997116	0.384578383	-0.455931732	0.053361449	0.346291744	0.82798591	-0.02616075	-0.034325471
LNDCONTRATOSSIN\$KWH	0.24483092	-0.084997116	1	-0.016529874	-0.064520344	-0.31953374	-0.435687612	-0.070001885	0.15264871	0.041821103
LNDCOMPRASBOLSA	-0.30111926	0.384578383	-0.016529874	1	-0.414554176	0.231068675	0.219190842	0.225173753	-0.05561955	-0.006961599
LNDVENTASNETASBOLG	0.07601562	-0.455931732	-0.064520344	-0.414554176	1	-0.089182155	-0.154025886	0.061231267	0.09816411	-2.08E-02
LNDVOLEMBALSA	-0.33168138	0.053361449	-0.31953374	0.231068675	-0.089182155	1	0.403740858	0.002944315	0.13536561	-0.087530219
LNDAPORTESSIN	-0.33532609	0.346291744	-0.435687612	0.219190842	-0.154025886	0.403740858	1	0.276254525	-0.15074098	-0.066203133
LNDDEMANSIN	-0.09150994	0.82798591	-0.070001885	0.225173753	0.061231267	0.002944315	0.276254525	1	0.03503966	-4.80E-02
LNDNOAA	0.1078011	-0.026160754	0.152648713	-0.055619552	0.098164105	0.135365606	-0.150740984	0.035039658	1	0.06973967
LNDPRECIOGAS\$	0.1067147	-0.034325471	0.041821103	-0.006961599	-2.08E-02	-0.087530219	-0.066203133	-4.80E-02	0.06973967	1
LNDPRECIOOIL\$	-0.04738823	0.061828143	-0.174153076	0.054602986	0.019018808	0.098860426	0.194816275	0.070499184	0.04773288	0.137739506
LNDTRM	0.12532223	-0.053199409	0.01687614	-0.103447654	0.029620543	0.060259232	-0.033445309	-0.063399325	0.04318834	0.310322789

Gráfica No 21: Funciones ACF y PACF residuales regresión.

Date: 04/03/11 Time: 19:15
Sample: 1998M04 2009M08
Included observations: 137

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.089	-0.089	1.1054	0.293
		2 -0.119	-0.128	3.0973	0.213
		3 -0.165	-0.193	6.9857	0.072
		4 0.007	-0.052	6.9922	0.136
		5 0.007	-0.049	6.9996	0.221
		6 0.011	-0.034	7.0185	0.319
		7 -0.189	-0.219	12.242	0.093
		8 0.076	0.012	13.092	0.109
		9 0.175	0.136	17.637	0.040
		10 0.101	0.094	19.157	0.038
		11 -0.095	-0.022	20.513	0.039
		12 0.015	0.092	20.549	0.057
		13 -0.190	-0.162	26.104	0.016
		14 -0.011	-0.098	26.123	0.025
		15 0.021	-0.005	26.191	0.036
		16 -0.032	-0.060	26.351	0.049
		17 -0.038	-0.084	26.586	0.064
		18 0.084	-0.008	27.716	0.067
		19 0.022	-0.007	27.793	0.087
		20 -0.036	-0.122	28.008	0.109
		21 0.069	0.080	28.799	0.119
		22 -0.028	0.052	28.926	0.147
		23 -0.112	-0.094	31.011	0.123
		24 0.098	0.086	32.620	0.112
		25 -0.029	0.027	32.767	0.137
		26 -0.038	-0.089	33.012	0.162
		27 0.077	0.037	34.033	0.165
		28 -0.103	-0.092	35.884	0.146

Gráfica No 22: Funciones ACF y PACF residuales Regresión Final

Date: 04/12/11 Time: 20:45
Sample: 1998M04 2009M08
Included observations: 137
Q-statistic probabilities adjusted for 3 ARMA term(s)

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.185	-0.185	4.8145	
		2 -0.105	-0.145	6.3845	
		3 -0.134	-0.194	8.9477	
		4 -0.010	-0.107	8.9610	0.003
		5 0.019	-0.060	9.0148	0.011
		6 -0.081	-0.149	9.9753	0.019
		7 0.017	-0.071	10.019	0.040
		8 0.073	0.017	10.807	0.055
		9 0.036	0.018	11.005	0.088
		10 0.044	0.070	11.293	0.126
		11 -0.050	0.012	11.664	0.167
		12 0.059	0.096	12.195	0.203
		13 -0.034	0.035	12.367	0.261
		14 -0.058	-0.020	12.889	0.301
		15 0.025	0.040	12.984	0.370
		16 0.035	0.053	13.176	0.434
		17 -0.042	-0.044	13.457	0.491
		18 0.035	0.033	13.656	0.552
		19 -0.019	-0.012	13.713	0.620
		20 -0.082	-0.132	14.805	0.610
		21 0.062	0.009	15.441	0.631
		22 0.045	0.031	15.780	0.672
		23 -0.098	-0.128	17.369	0.629
		24 0.086	0.059	18.609	0.610

Tabla No 5: Estimaciones por OLS sin incluir las variables ΔNOAAP y ΔNOAAN

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
$\Delta\text{CONTRATOSSIN}$	0.593285	0.230193	2.577340	0.0111
$\Delta\text{CONTRATOSSIN\$KWH}$	1.873126	0.404079	4.635547	0.0000
$\Delta\text{COMPRASBOLSA}$	-0.328913	0.068890	-4.774466	0.0000
$\Delta\text{VENTASNETASBOLGEN}$	-0.128842	0.044432	-2.899763	0.0044
$\Delta\text{VOLEMBALSE(-1)}$	-0.227816	0.107032	-2.128496	0.0353
$\Delta\text{APORTESSIN}$	-0.163767	0.047412	-3.454163	0.0008
C	-0.009545	0.008061	-1.184188	0.2386
DSTN2001	0.130213	0.026105	4.988069	0.0000
DCXC2006	0.233665	0.056941	4.103657	0.0001
AR(7)	-0.217316	0.063625	-3.415577	0.0009
AR(9)	0.103614	0.063834	1.623170	0.1071
AR(13)	-0.256573	0.062174	-4.126713	0.0001
R-squared	0.569940	Mean dependent var	0.002407	
Adjusted R-squared	0.532095	S.D. dependent var	0.172806	
S.E. of regression	0.118206	Akaike info criterion	-1.349266	
Sum squared resid	1.746573	Schwarz criterion	-1.093501	
Log likelihood	104.4247	F-statistic	15.05975	
Durbin-Watson stat	2.192842	Prob(F-statistic)	0.000000	

Gráfica No 23: Funciones ACF y PACF residuales Regresión sin incluir las variables ΔNOAAP y ΔNOAAN .

Date: 04/02/11 Time: 12:45 Sample: 1998M04 2009M08 Included observations: 137 Q-statistic probabilities adjusted for 3 ARMA term(s)					
Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	1	-0.106	-0.106	1.5645	
2	1	-0.053	-0.065	1.9591	
3	1	-0.141	-0.156	4.7751	
4	1	-0.058	-0.100	5.2544	0.022
5	1	0.049	0.009	5.5981	0.061
6	1	-0.048	-0.079	5.9389	0.115
7	1	0.040	0.004	6.1684	0.187
8	1	0.080	0.084	7.1027	0.213
9	1	0.080	0.097	8.0629	0.234
10	1	0.012	0.051	8.0844	0.325
11	1	-0.069	-0.012	8.8094	0.359
12	1	0.025	0.059	8.9066	0.446
13	1	-0.010	0.015	8.9224	0.539
14	1	-0.010	-0.013	8.9381	0.628
15	1	0.038	0.043	9.1626	0.689
16	1	0.056	0.067	9.6586	0.722
17	1	-0.057	-0.070	10.183	0.749
18	1	0.060	0.060	10.765	0.769
19	1	-0.002	0.033	10.766	0.824
20	1	-0.073	-0.083	11.632	0.822
21	1	0.046	0.036	11.982	0.848
22	1	0.012	0.034	12.007	0.885
23	1	-0.095	-0.137	13.530	0.854
24	1	0.056	0.024	14.052	0.867
25	1	-0.012	-0.004	14.078	0.899
26	1	-0.017	-0.070	14.126	0.923
27	1	0.060	0.054	14.759	0.928

ANEXO 2: PRUEBAS

1. TEST DE RAÍCES UNITARIAS Y ORDEN DE INTEGRACIÓN VARIABLES

Tabla No 6: Resultados Augmented Dickey-Fuller Test

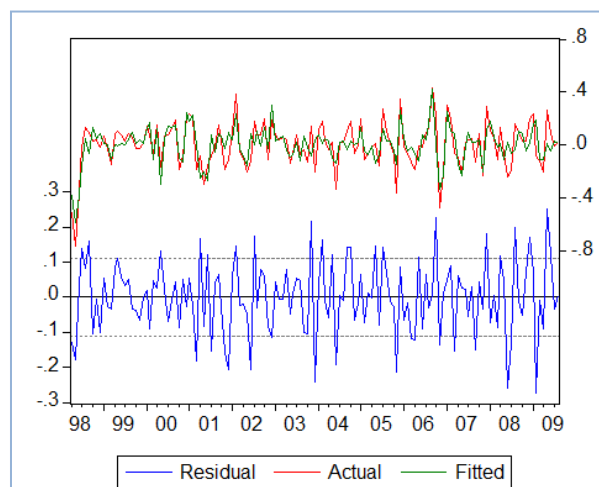
Variable	T-estadístico	Probabilidad
$\Delta pbolsa$ – Crecimiento Precio de Bolsa	-12.75	0.00
$\Delta contratossin$ – Crecimiento Total Contratos Generadores en Kw-h.	-4.85	0.00
$\Delta contratossin\$kwh$ - Crecimiento Contratos Total Contratos Gen en \$/Kw-h.	-2.25	0.45
$\Delta comprasbolsa$ - Crecimiento Compras en Bolsa de los Generadores	-10.47	0.00
$\Delta ventasnetasbolgen$ - Crecimiento Ventas Netas en Bolsa de los Generad.	-15.85	0.00
$\Delta pvolembalse$ - Crecimiento Volumen Embalse Agregado del Sistema	-3.90	0.00
$\Delta aportessin$ - Crecimiento Aportes Ríos al Sistema	-2.73	0.07
$\Delta demansin$ - Crecimiento Demanda SIN	-2.22	0.19
$\Delta noaa$ - Crecimiento Variable NOAA	-8.68	0.00
Δtrm - Crecimiento TRM	-5.07	0.00
$\Delta preciogas\$$ - Crecimiento Precio del Gas	-12.85	0.00
$\Delta preciooil \$$ - Crecimiento Precio del Petróleo	-10.82	0.00

Tabla No 7: Orden de Integración

SERIE	ORDEN DE INTEGRACIÓN
$\Delta pbolsa$	I(0)
$\Delta contratossin$	I(0)
$\Delta contratossin\$kwh$	I(1)
$\Delta comprasbolsa$	I(0)
$\Delta ventasnetasbolgen$	I(0)
$\Delta pvolembalse$	I(0)
$\Delta aportessin$	I(1)
$\Delta demansin$	I(1)
$\Delta noaa$	I(0)
Δtrm	I(0)
$\Delta preciogas\$$	I(0)
$\Delta preciooil \$$	I(0)

2. TEST DE RAÍCES UNITARIAS Y GRADO DE INTEGRACIÓN REGRESIÓN FINAL

Gráfica No 24: Residuales Regresión Final



Gráfica No 25: ACF y PACF residuales regresión final

Date: 04/12/11 Time: 20:45
Sample: 1998M04 2009M08
Included observations: 137
Q-statistic probabilities adjusted for 3 ARMA term(s)

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.185 -0.185	4.8145		
		2 -0.105 -0.145	6.3845		
		3 -0.134 -0.194	8.9477		
		4 -0.010 -0.107	8.9610	0.003	
		5 0.019 -0.060	9.0148	0.011	
		6 -0.081 -0.149	9.9753	0.019	
		7 0.017 -0.071	10.019	0.040	
		8 0.073 0.017	10.807	0.055	
		9 0.036 0.018	11.005	0.088	
		10 0.044 0.070	11.293	0.126	
		11 -0.050 0.012	11.664	0.167	
		12 0.059 0.096	12.195	0.203	
		13 -0.034 0.035	12.367	0.261	
		14 -0.058 -0.020	12.889	0.301	
		15 0.025 0.040	12.984	0.370	
		16 0.035 0.053	13.176	0.434	
		17 -0.042 -0.044	13.457	0.491	
		18 0.035 0.033	13.656	0.552	
		19 -0.019 -0.012	13.713	0.620	
		20 -0.082 -0.132	14.805	0.610	
		21 0.062 0.009	15.441	0.631	
		22 0.045 0.031	15.780	0.672	
		23 -0.098 -0.128	17.369	0.629	
		24 0.086 0.059	18.609	0.610	

Tabla No 8: Test Augmented Dickey-Fuller Residuales Regresión Final

Variable	T-estadístico	Probabilidad
<i>U – Residual</i>	-12.68	0.00

3. PRUEBAS DE EXOGENEIDAD DÉBIL Y FUERTE

Tabla No 9: Resumen pruebas de Exogeneidad Débil y de Causalidad de Granger

VARIABLE	EXOGENEIDAD DÉBIL		EXOGENEIDAD FUERTE (1 RETARDO)		EXOGENEIDAD FUERTE (2 RETARDO)	
	Cumple	No Cumple	Causa GRANGER	No Causa GRANGER	Causa GRANGER	No Causa GRANGER
$\Delta pbolsa$ ENDÓGENA						
$\Delta contratossin$	X			X		X
$\Delta contratos\$kwh$		X		X		X
$\Delta comprasbolsa$		X		X		X
$\Delta ventasnetasbolgen$	X		X		X	
$\Delta volembalse(-1)$		X		X	X	

ANEXO 3

RESULTADOS REGRESIÓN CONSIDERANDO APORTES MENSUALES REALES DE LOS RIOS DEL SIN EN LUGAR DE APORTES MEDIOS MENSUALES HISTÓRICOS

Gráfica No 26: Serie en niveles y en crecimiento

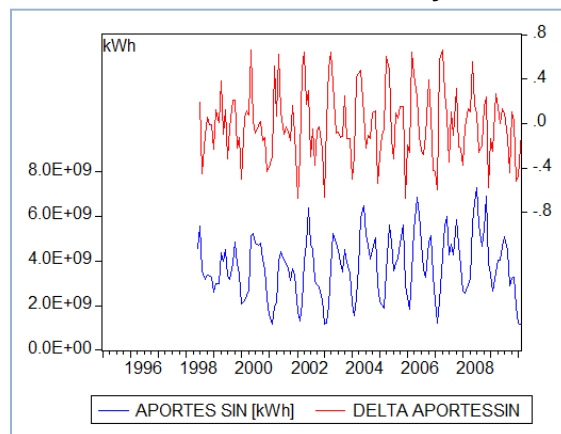
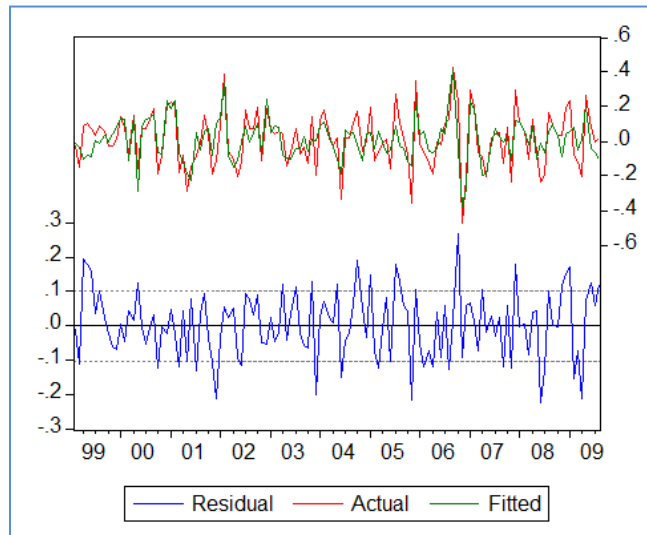


Tabla No 10: Resultados por OLS, aportes mensuales reales

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Δ CONTRATOSSIN	0.516265	0.203830	2.532819	0.0127
Δ CONTRATOSSIN\$KWH	1.227852	0.434371	2.826735	0.0056
Δ COMPRASBOLSA	-0.244554	0.076532	-3.195452	0.0018
Δ VENTASNETASBOLGEN	-0.106556	0.044988	-2.368562	0.0196
Δ VOLEMBALSE(-1)	-0.325859	0.102975	-3.164459	0.0020
Δ APOTESSINREAL	-0.169994	0.038050	-4.467640	0.0000
C	0.001508	0.006121	0.246306	0.8059
DSTN2001	0.128739	0.023600	5.455006	0.0000
DCXC2006	0.227708	0.049240	4.624484	0.0000
DNOAAP	0.069552	0.071715	0.969840	0.3342
AR(1)	-0.227654	0.092101	-2.471781	0.0149
AR(2)	-0.219434	0.091850	-2.389039	0.0185
AR(3)	-0.186779	0.092271	-2.024236	0.0453
AR(7)	-0.203387	0.094058	-2.162352	0.0327
R-squared	0.603129	Mean dependent var	0.012721	
Adjusted R-squared	0.557472	S.D. dependent var	0.155353	
S.E. of regression	0.103345	Akaike info criterion	-1.597813	
Sum squared resid	1.206863	Schwarz criterion	-1.284281	
Log likelihood	115.4612	F-statistic	13.20981	
Durbin-Watson stat	2.010582	Prob(F-statistic)	0.000000	

Nota: se tienen datos desde junio de 1998, pero la serie ajustada inicia en el mes 02 de 1999

Gráfica No 27: Residuales Regresión, aportes mensuales reales



Gráfica No 28: ACF y PACF Residuales Regresión con aportes mensuales reales

Date: 04/20/11 Time: 10:00
Sample: 1999M02 2009M08
Included observations: 127
Q-statistic probabilities adjusted for 4 ARMA term(s)

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.016 -0.016 0.0342			
		2 -0.008 -0.009 0.0434			
		3 -0.061 -0.062 0.5395			
		4 -0.102 -0.104 1.9200			
		5 -0.113 -0.120 3.6322 0.057			
		6 -0.086 -0.102 4.6353 0.099			
		7 -0.004 -0.029 4.6370 0.200			
		8 0.022 -0.010 4.7030 0.319			
		9 0.095 0.060 5.9677 0.309			
		10 0.040 0.013 6.1933 0.402			
		11 -0.022 -0.041 6.2590 0.510			
		12 0.099 0.102 7.6601 0.467			
		13 -0.089 -0.066 8.7906 0.457			
		14 -0.020 -0.000 8.8476 0.547			
		15 0.077 0.107 9.7094 0.557			
		16 -0.024 -0.009 9.7962 0.634			
		17 -0.020 -0.017 9.8579 0.706			
		18 -0.021 -0.019 9.9237 0.768			
		19 -0.003 -0.009 9.9253 0.824			
		20 -0.108 -0.104 11.712 0.764			
		21 0.021 0.004 11.777 0.813			
		22 -0.059 -0.073 12.321 0.830			
		23 -0.081 -0.113 13.352 0.820			
		24 0.105 0.046 15.102 0.771			
		25 0.004 -0.017 15.105 0.818			

Nota: Se obtienen residuales Ruido Blanco y Estacionarios